

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

pour obtenir

LE DIPLOME DE DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ (3^e CYCLE)

EN PHYSIQUE (SPECTRONOMIE)

PAR

Marie Françoise HENRIOT

Licenciée ès-Sciences

Réalisation

**d'une lampe à hydrogène de grande puissance
et application à l'étude spectrophotométrique
de lampes à vapeur de mercure dans l'ultraviolet**

Soutenue le 18 Novembre 1965, devant la Commission d'Examen.

MM. G. DÉJARDIN	Président
J. JANIN	} Examinateurs
J. d'INCAN	
R. FALGON	

LYON

Imprimerie BOSC Frères
42, quai Gailleton, 42

1965

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

pour obtenir

LE DIPLOME DE DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ (3^e CYCLE)

EN PHYSIQUE (SPECTRONOMIE)

PAR

Marie Françoise HENRIOT

Licenciée ès-Sciences

Réalisation

**d'une lampe à hydrogène de grande puissance
et application à l'étude spectrophotométrique
de lampes à vapeur de mercure dans l'ultraviolet**

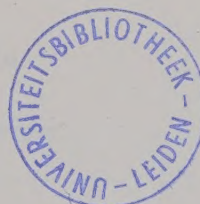
Soutenue le 18 Novembre 1965, devant la Commission d'Examen.

MM. G. DÉJARDIN	Président
J. JANIN	} Examinateurs
J. d'INCAN	
R. FALGON	

LYON

Imprimerie BOSC Frères
42, quai Gailleton, 42

1965



UNIVERSITE de LYON
FACULTE des SCIENCES

Doyens honoraires

MM. LONGCHAMBON, MOUSSA, GAUTHIER Henri.

Professeurs honoraires

MM. de LARAMBERGUE, SOLLAUD, MENTZER, MOUSSA, JAFFARD, EYRAUD Henri,
DEJARDIN, VIRET.

Doyen

M. BRACONNIER

Assesseurs

M. M. MESNARD
BOIDIN

Professeurs

MM. LONGCHAMBON	Minéralogie
PRETTRE	Chimie industrielle
COURTY	Chimie-Physique
KUHNER	Botanique
MALECOT	Mécanique rationnelle et appliquée
PARIS	Chimie minérale
AUMERAS	Chimie générale II
COLONGE	Chimie organique
JANIN	Physique générale
FLANDRIN	Géologie appliquée
BERNARD	Physique industrielle
DUFAY Jean	Astronomie
NIGON	Zoologie expérimentale
GAUTHIER Henri	Géologie générale
WAUTHIER	Zoologie
CHOPIN	Chimie biologique
CUEILLERON	Chimie
BRACONNIER	Calcul différentiel et intégral
EYRAUD Charles	Chimie-Physique appliquée

MM. SARAZIN	Physique nucléaire
BOIDIN	Microbiologie et Mycologie
PERES	Physiologie
MESNARD	Electronique
GRANDMONTAGNE	Physique
BOUTILLIER	Minéralogie
LAFOUCRIERE	Physique nucléaire théorique
DR EUX	Chimie organique
TEICHNER	Chimie industrielle
PAVANS de CECCATY	Zoologie
MERLIN	Chimie analytique
DUFAY Maurice	Physique de l'Atmosphère
PHILBERT	Physique nucléaire
COHEN-ADAD	Chimie
DAVID Louis	Géologie générale
CHANEL	Psychophysiologie
MAURY	Méthodes Mathématiques de la Physique
DEPRAZ	Physique nucléaire
GAUTHIER Jean	Chimie
GAUME	Physique expérimentale

Professeurs sans chaire

MM. FERON	Mathématiques
LAFORGUE	Physique
LEGAY	Zoologie expérimentale S.P.C.N.
UZAN	Physique S.P.C.N.
CHENEVOY	Géologie appliquée
GINET	Zoologie
ASCH	Physique
MICHEL Pierre	Minéralogie
DUC ET	Biologie végétale
Mle MAITROT	Physique
MM. GEVIN	Géologie générale
PONASSE	Mathématiques
d'INCAN	Physique
LEFEBVRE	Mathématiques
PERNET	Mathématiques
CHERY	Physique
BERGEON	Physique
Mle GAUTHERON	Chimie biologique
MM. DESCOTES	Chimie organique
ERBEIA	Physique
Mme ERICSON	Physique générale
M. LEMOIGNE	Botanique

Maîtres de Conférences

MM.	MARTEL	Mécanique
	MATHIEU	Mécanique des Fluides
	PICARD Philippe	Mathématiques
	DEMARCO	Géologie générale
	MICHEL Georges	Biochimie
	LEBRETON	Biologie végétale
	DAVID Jean	Biologie animale
	TOUSSET	Chimie propédeutique
	FEUVRAIS	Physique Electricité
	PICARD Claude	Mathématiques
	SCHMITT	Physique M. P. C.
	LAURENT	Chimie organique
	ROT	Mathématiques
	BETHOUX	Mathématiques T. M. P.
Mle	CALAIS	Mathématiques C. S. U.
M.	GUSAKOW	Physique
Mle	THOMAS	Chimie Minérale
MM.	COLOBERT	Physiologie
	AUBIN	Analyse numérique
	BUCHWALTER	Mathématiques
	BOUZON	Mathématiques C. S. U.
	COSNIER	Psychophysiologie

Maître de Conférences adjoint

M.	PIERRON	Chimie
----	---------	--------

Conseiller Administratif

M.	BURNET
----	--------

Secrétaire Principal Honoraire

M.	ROUX
----	------

Ce travail a été effectué au Laboratoire de Spectroscopie et de Luminescence de l'Université de LYON.

Je remercie Monsieur le Professeur G. DEJARDIN qui a bien voulu accepter de présider le Jury de cette thèse.

Je veux exprimer ma vive gratitude à Monsieur le Professeur J. JANIN dont j'ai apprécié la valeur et la clarté de l'enseignement. Il a toujours dirigé mes recherches avec bienveillance et n'a jamais cessé de me donner conseils et directives.

Monsieur R. FALGON, Ingénieur au C.N.R.S., a suivi pas à pas le développement de ce travail. Il fut pour moi un guide très précieux. Je suis heureuse de pouvoir lui exprimer ici ma reconnaissance.

Je remercie Monsieur le Professeur J. d'INCAN qui a bien voulu être membre de ce Jury.

Le tube à hydrogène a été construit par Monsieur SERVIN qu'il m'est agréable de remercier pour les soins qu'il a apportés à sa réalisation.

J'adresse mes remerciements à tous ceux qui ont contribué à l'impression de ma thèse et à tous mes camarades de laboratoire pour la constante collaboration qu'ils m'ont toujours apportée avec la plus parfaite gentillesse.

INTRODUCTION

Dans un grand nombre de domaines : spectroscopie, luminescence, photométrie, biologie, il est intéressant de pouvoir disposer d'une source de rayonnement produisant avec une grande intensité un spectre continu dans l'ultraviolet : c'est le cas des tubes à décharge contenant de l'hydrogène sous faible pression.

Nous avons par suite cherché à réaliser un tube à hydrogène de forte puissance et de grande stabilité qui puisse être utilisé aussi bien pour l'étude des spectres d'absorption et pour celle des spectres d'excitation des substances luminescentes que pour des déterminations spectrophotométriques.

CHAPITRE I

REALISATION DU TUBE A HYDROGENE

La construction de tubes à hydrogène a fait l'objet de nombreuses études^{/1/}. Beaucoup de modèles ont été réalisés, qui semblent à peu près équivalents du point de vue des caractères essentiels de l'émission. Mais lorsqu'il s'agit de construire un tube de puissance assez élevée pour fournir en régime permanent un spectre continu ultraviolet de grande intensité et dont, en outre, la stabilité dans le temps soit satisfaisante, des difficultés technologiques particulières se présentent.

Nous avons donc été conduits à examiner soigneusement, au cours d'une étude préalable, les caractéristiques essentielles à donner au tube de façon à favoriser sa stabilité.

A) Etude des électrodes.

La tension aux bornes du tube étant de l'ordre de 2500 volts, les électrodes sont nécessairement soumises à un échauffement intense et de ce fait subissent une désintégration progressive. Observée depuis longtemps, la désintégration a fait déjà l'objet de nombreuses études. Waran^{/2/}, en particulier, a proposé une théorie thermique du phénomène. La désintégration serait produite par l'évaporation de petites quantités de métal de la surface de la cathode en raison d'un échauffement local intense dû au bombardement de l'électrode par les ions positifs. Prenant en considération la brusque variation de la température au voisinage immédiat du point d'impact,

il trouve que la désintégration observée peut s'expliquer en faisant intervenir la conductivité thermique, la masse volumique, la température d'ébullition, ainsi que certaines propriétés physiques du métal constituant la cathode.

Au terme d'une étude portant sur un grand nombre de métaux, Waran arrive à la conclusion que le degré de désintégration varie approximativement comme l'inverse de la chaleur totale H exigée pour élever un gramme de métal de la température de la cathode à son point d'ébullition sous la pression p du gaz dans le tube à décharge et pour le vaporiser à cette température. Classant les métaux en fonction de la valeur $\frac{1}{H}$, il trouve que l'aluminium est, avec le magnésium, le métal qui présente le degré d'évaporation le plus faible.

B) Etude de la pression d'hydrogène.

Il paraît évident que la pression du gaz dans le tube à décharge doit influencer la pulvérisation. Une diminution de la pression, en effet, réduit considérablement la chaleur de vaporisation du métal, et par suite, on doit s'attendre sous faible pression à une augmentation notable de l'évaporation. De plus, si l'on abaisse la pression, les pertes thermiques par conduction et par convection par le gaz diminuent et l'évaporation augmente. Mais comme un abaissement de la pression réduit la quantité d'ions positifs rencontrant la cathode, puisque celle-ci est proportionnelle au nombre d'ions gazeux dans le tube, on peut espérer qu'au-dessous d'une certaine pression, la désintégration des électrodes intervienne beaucoup moins.

Il est à noter également qu'à basse pression le libre parcours moyen des ions augmente, ce qui entraîne une diminution des pertes d'énergie par collision.

En résumé, on peut penser qu'il existe une valeur critique de la pression pour laquelle l'évaporation est maximale. La discussion précédente montre toutefois que l'influence de la pression sur la désintégration des électrodes est complexe et mal connue.

Aussi, avant de réaliser le tube définitif, avons-nous cherché à obtenir des données plus précises, et dans ce but nous avons fait construire un tube à hydrogène, de dimensions réduites, dont les électrodes étaient constituées par des cylindres d'aluminium. Le tube était plongé dans une cuve, à l'intérieur de laquelle était assurée une circulation d'eau permanente. Alimenté par un groupe comprenant un transformateur et une self à noyau de fer, il fonctionnait sous une tension de 1100 volts et était parcouru par un courant d'intensité voisine de 100 mA.

Différents essais ont été effectués en remplissant le tube d'hydrogène sous une pression variant de 1,5 à 6 mm de Hg. Sous chacun de ces régimes, on le laissait fonctionner pendant une centaine d'heures. Dans tous les cas, un dépôt noirâtre se formait sur la paroi adjacente aux électrodes et l'importance du dépôt était pratiquement identique, quelle que soit la pression utilisée.

Ainsi dans les conditions d'emploi, il ne semble pas que la pression du gaz joue un rôle important dans le phénomène de désintégration. Nous avons donc choisi la valeur de la pression permettant d'obtenir l'intensité d'émission la plus élevée. D'après les travaux de Chalonge^{/3/}, l'intensité d'une radiation quelconque du spectre passe par un maximum pour une pression comprise entre 2 et 3 mm de Hg. Ce maximum est d'ailleurs très étalé et dans un intervalle de pression s'étendant entre 1 et 4 mm de Hg, l'intensité demeure presque constante.

Chalonge a montré, en outre, que la répartition spectrale de l'énergie émise par un tube à hydrogène déterminé est indépendante de la pression et du régime de décharge dans de très larges limites.

C) Détermination de la position du capillaire.

Nous avons dit que, selon la théorie thermique de Waran, la désintégration serait provoquée par l'évaporation de petites quantités de métal en raison de l'échauffement local produit par le bombardement de la surface de la cathode par les ions positifs. Pour réduire la contamination des fenêtres qui livrent passage au rayonnement, il paraît normal d'éloigner les électrodes de l'axe du capillaire.

Nous avons été ainsi amenés à construire un tube de dimensions réduites, dans lequel les électrodes étaient décalées par rapport au capillaire. Ce dernier a fonctionné sous une pression de 3 mm de Hg et avec une puissance de l'ordre de 100 V.A pendant 300 heures, sans qu'aucun dépôt n'apparaisse sur la fenêtre d'observation.

D) Construction de la lampe.

En nous appuyant sur ces résultats, nous avons procédé à la construction du tube, qui diffère d'ailleurs assez peu du modèle conçu et étudié par Déjardin et Cavassilas ^{/4/}. Les figures 1 et 2 donnent le schéma de la lampe. La partie dans laquelle se produit la décharge est réalisée entièrement en silice fondue; elle comporte un tube horizontal (longueur : 700 mm, diamètre intérieur : 8 mm), aboutissant aux deux chambres d'électrodes et prolongé au-delà de ces dernières, et suivant son axe, par des cylindres (longueur : 130 mm, diamètre : 40 mm), fermés par des glaces de silice "Suprasil". Cette variété de silice a été choisie en raison de son bon facteur de transmission au-dessous de 2500 Å; ce dernier ne décroît que

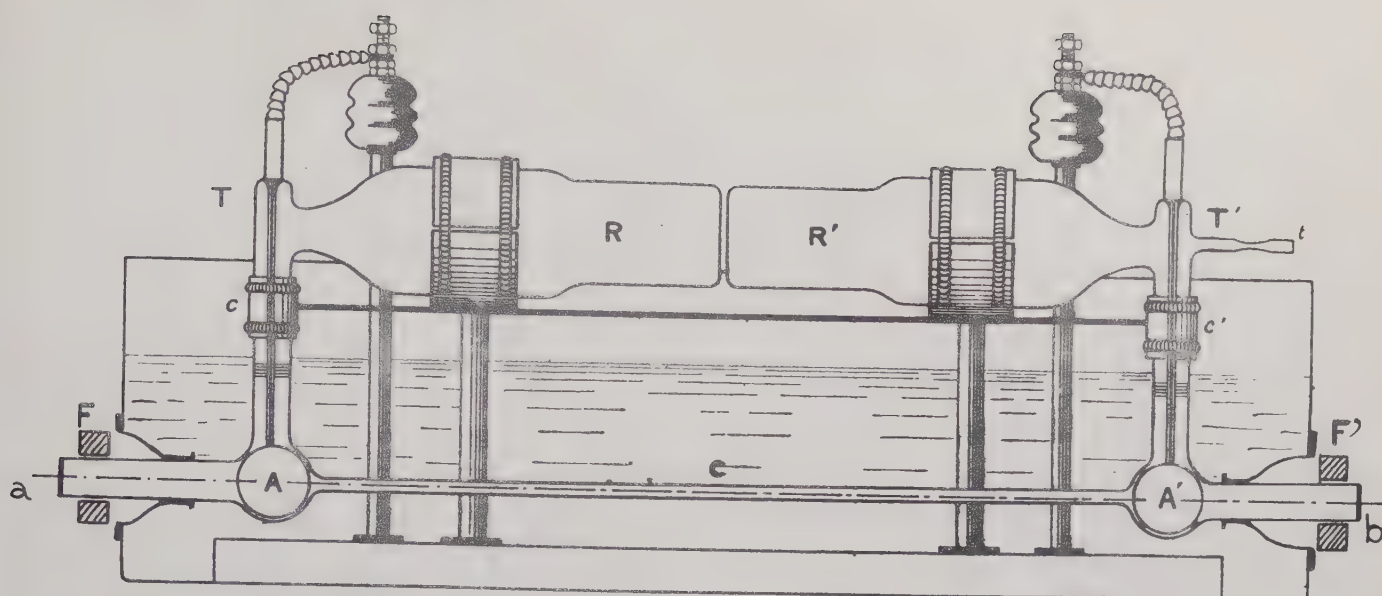


figure 1

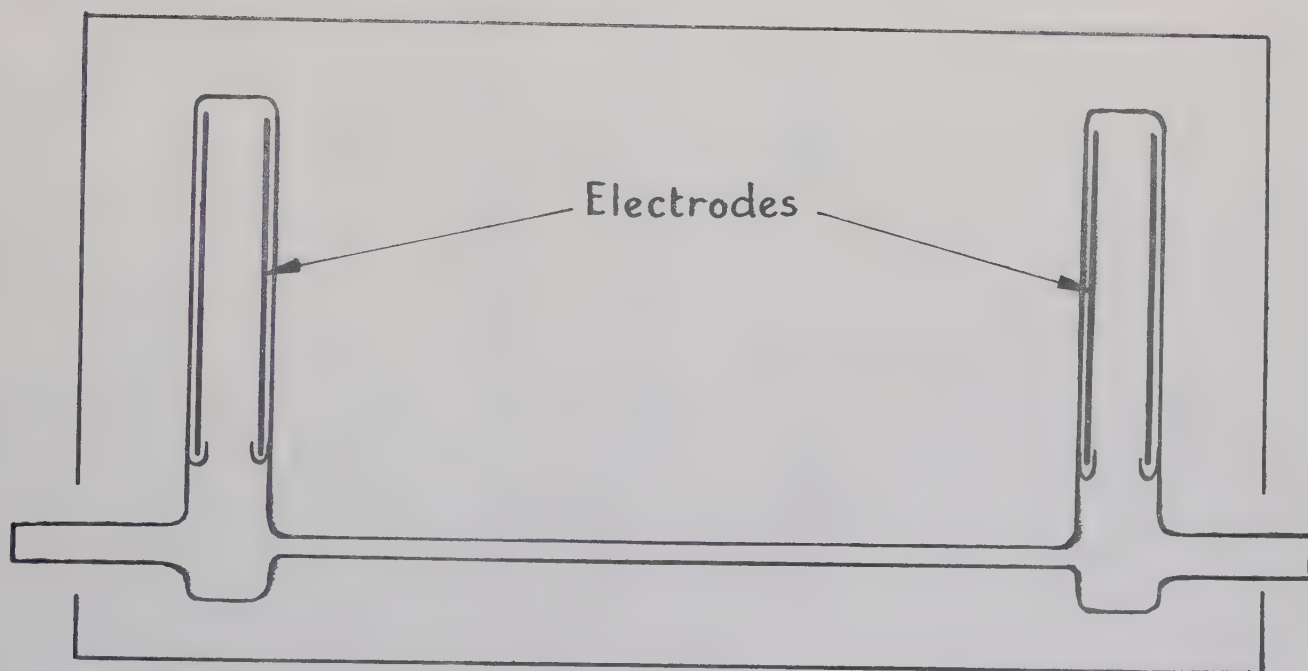


figure 2

coupe schématique ab

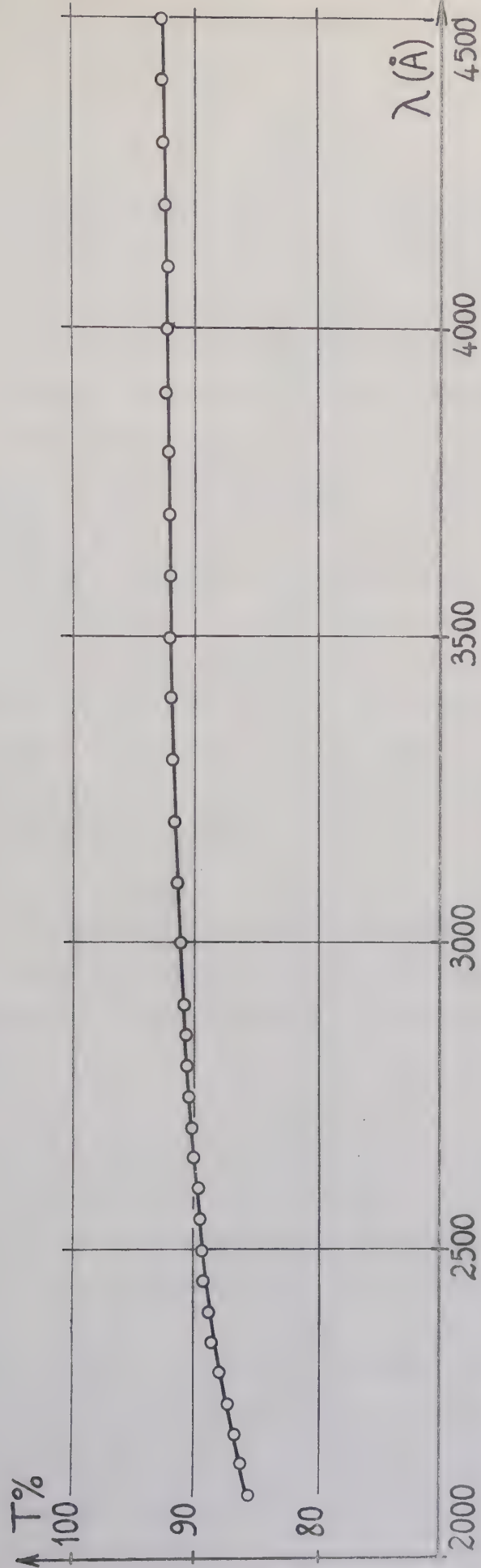


figure 3

très faiblement et progressivement entre 2500 et 2100 Å. La figure 3 représente la variation avec la longueur d'onde du facteur de transmission des glaces utilisées. Les chambres cylindriques contenant les électrodes (longueur 320 mm, diamètre 60 mm) dont les axes sont horizontaux et perpendiculaires au capillaire, sont décalées par rapport à celui-ci. Les électrodes qui sont constituées d'aluminium pur à 99,99 %, sont logées dans les portions longues des chambres; elles sont ainsi éloignées des fenêtres d'observation. A l'exclusion de ces fenêtres de silice et d'une partie des tubulures sur lesquelles elles sont scellées, l'ensemble est immergé dans une cuve métallique contenant de l'eau courante. Les chambres d'électrodes sont raccordées par l'intermédiaire de joints silice-pyrex à des tubulures de gros diamètre traversées par des conducteurs de tungstène; ces tubulures communiquent, en outre, avec deux récipients cylindriques de grand volume en verre pyrex, contenant une réserve d'hydrogène d'environ 5 litres.

Pour éviter la pulvérisation toujours possible sur les fenêtres d'observation, de petits éléments chauffants ont été installés autour de chaque fenêtre; celles-ci sont ainsi portées à une température voisine de 150°C.

Le tube est raccordé par un queusot à une canalisation de vide comprenant une pompe à palette et une pompe secondaire à huile permettant d'obtenir un vide de 10^{-6} mm de mercure. L'hydrogène est introduit à l'aide d'un osmorégulateur en palladium chauffé électriquement.

Avant le remplissage définitif, nous avons procédé à un dégazage soigneux du tube par chauffage au chalumeau et passages multiples de la décharge sous très faible régime et sans refroidissement du capillaire. Puis nous avons effectué de très nombreux remplissages successifs,

chacun étant suivi d'un fonctionnement de plus en plus long de la lampe, en la faisant traverser par une décharge d'intensité de plus en plus forte.

Le dispositif d'alimentation comprend un régulateur Voltreg de 15 K.V.A., donnant une tension de sortie de 220 V pour une tension d'entrée variant de 187 à 253 volts et un transformateur à fuite pouvant fournir une tension de 4000 V sous 2 A. Sur le circuit primaire, nous avons inséré une self à noyau de fer mobile de façon à pouvoir contrôler l'intensité du courant de décharge. Ce dernier est mesuré par un ampèremètre à couple.

Une interruption du refroidissement du tube risquant d'être dangereuse, ce dernier est muni d'un dispositif de sécurité qui ne laisse passer le courant que lorsque le niveau à l'intérieur de la cuve est assez élevé.

Plusieurs spectrogrammes ont été enregistrés afin de s'assurer de la pureté du gaz contenu dans la lampe. Comme le montre le cliché 4, le spectre obtenu se compose de radiations monochromatiques superposées à un spectre continu. Les raies sont celles de la série de Balmer de l'atome d'hydrogène (dans le visible : $H_{\alpha} = 6564 \text{ \AA}$; $H_{\beta} = 4862 \text{ \AA}$; $H_{\gamma} = 4341 \text{ \AA}$; $H_{\delta} = 4102,9$) et celles du spectre secondaire. Mais au-dessous de $3650 \text{ \AA}$, le spectre continu se manifeste seul, mis à part les raies d'arc du silicium : 2882 , 2631 , 2532 , 2529 , 2524 , 2516 , 2514 , 2507 , 2435 , 2218 , 2217 , et $2211 \text{ \AA}$.

Au bout de 200 heures de fonctionnement, le tube^a atteint un régime relativement stable. L'étude de l'évolution du tube au cours du temps ayant été faite sans modifier les conditions d'utilisation, nous avons pu noter une augmentation lente de l'intensité et une diminution

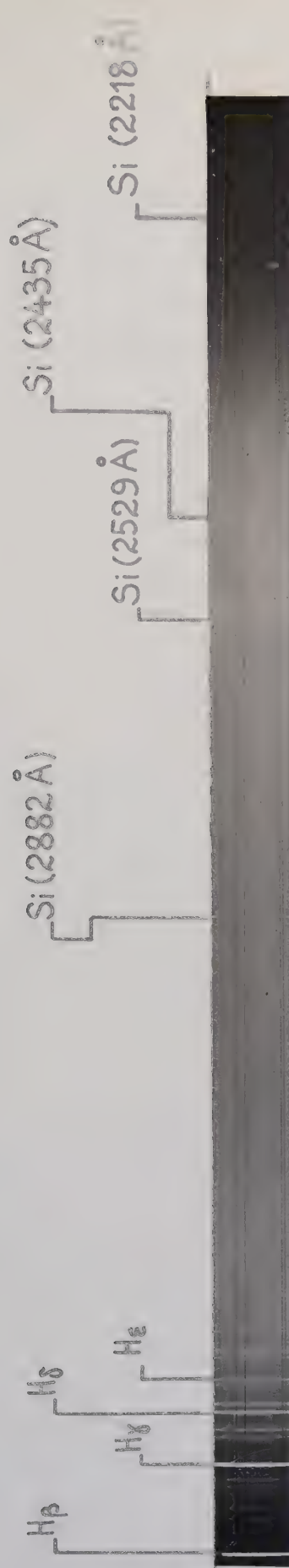


figure 4

parallèle de la tension de telle sorte que le produit tension x intensité restait constant. Ainsi après 190 heures de fonctionnement, nous avons réglé l'intensité à 1,025 A - 85 heures après, cette dernière était de 1,09 A. De même, la tension, valant initialement 2865 V, avait pour valeur 2740 V.

CHAPITRE II

DETERMINATION DE LA COURBE DE REPARTITION SPECTRALE DE L'ENERGIE DU TUBE A HYDROGENE.

A) Dispositif expérimental.

Nous avons utilisé un monochromateur Hilger D.285 à optique de quartz. L'ouverture des fentes s'effectue symétriquement; la fente d'entrée possède des lèvres courbes et la fente de sortie des lèvres droites. La graduation du tambour a été vérifiée soigneusement. Elle s'est révélée parfaitement correcte entre 2500 et 3500 Å. Les écarts sont de l'ordre de -2 Å en-dessous de 2500 Å et s'élèvent à +2 Å dans le spectre visible.

Le récepteur est une pile de Schwarz à fenêtre de quartz (modèle Hilger F.T.16, linéaire dans le vide). Sa sensibilité est de $12 \mu V / \mu W$ et sa résistance interne de 85 ohms. Cette thermopile est compensée, les deux éléments dont la surface est de $9 \times 0,5 \text{ mm}^2$, étant montés en parallèle. Elle s'ajuste au monochromateur par l'intermédiaire d'un adaptateur fourni par le constructeur de telle sorte que l'alignement des éléments avec la fente est toujours assuré. Le courant fourni par la pile doit être fortement amplifié pour être mesurable. Cette amplification est réalisée au moyen d'un système optique comportant un relai photoélectrique dont le détail est représenté sur la figure 5.

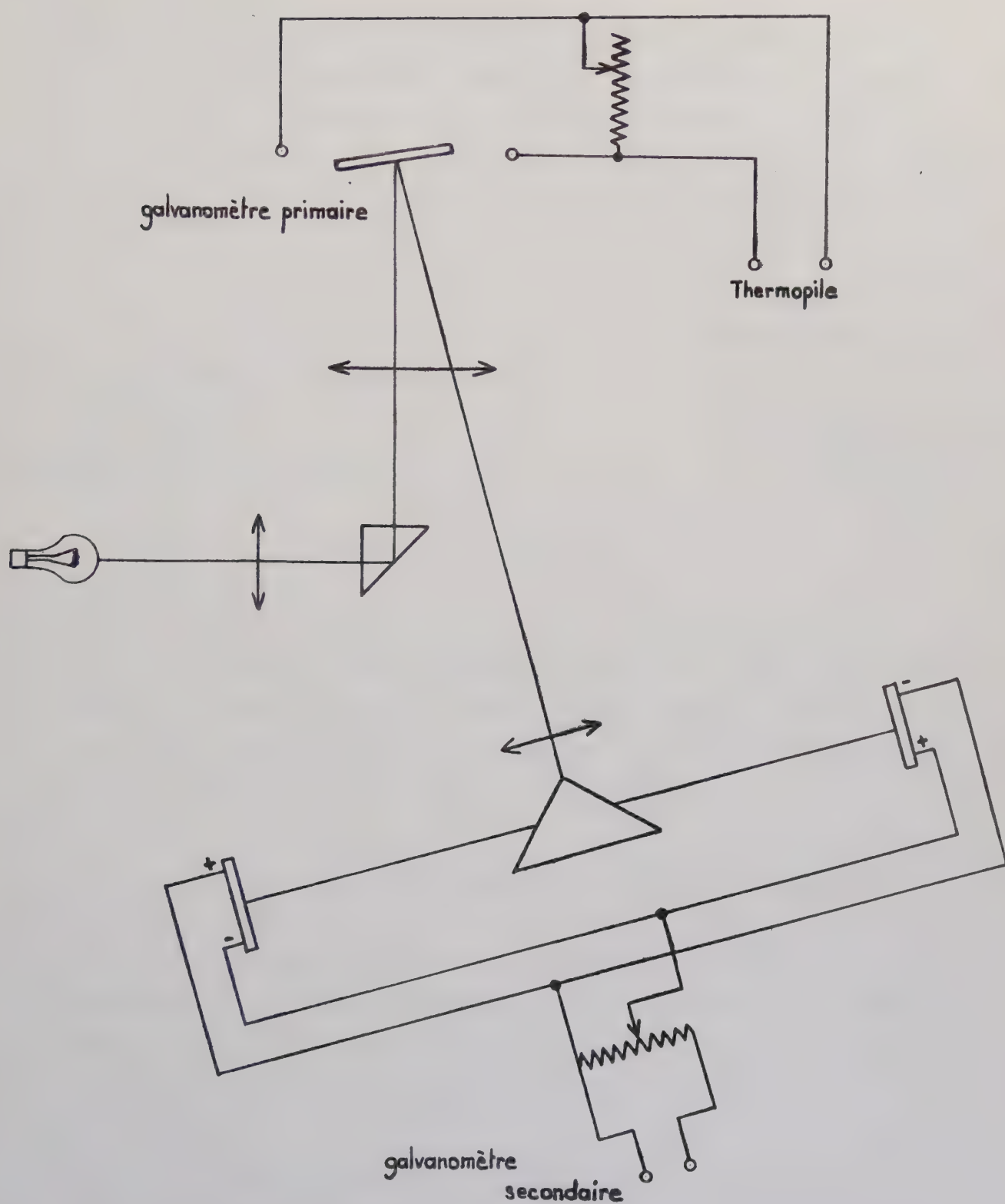


figure 5

Etant donné la grande sensibilité du dispositif, il faut éviter toute vibration. Aussi, l'ensemble comprenant le galvanomètre primaire qui enregistre le courant thermoélectrique, la source lumineuse d'intensité constante et le relai est-il monté sur un lourd châssis posé sur du caoutchouc mousse. Le support de cet appareil a été scellé dans le mur du laboratoire.

Le faisceau réfléchi par le miroir du galvanomètre tombe sur l'arête d'un prisme qui le divise en deux parties, reçues par deux cellules à couche d'arrêt montées en opposition. Si les deux photocellules sont également éclairées, il n'y a aucun courant à la sortie du relai. Une faible déviation du galvanomètre primaire détruit cet équilibre et il apparaît un courant, qui est mesuré par un galvanomètre secondaire.

Comme la détermination directe de la courbe spectrale d'énergie d'un rayonnement à spectre continu exige la connaissance de la dispersion et du facteur de transmission du monochromateur utilisé, leur mesure a été également effectuée.

B) Etude de la dispersion du monochromateur.

Un dispositif annexe a été réalisé et monté sur le monochromateur à la place de la fente de sortie. Il comporte un châssis contenant une plaque photographique, située exactement dans le plan de la fente de sortie du monochromateur.

On enregistre ainsi les spectres de différentes lampes : lampes à vapeur de mercure à haute et basse pression, lampe à cadmium.

Chaque spectrogramme correspond à un domaine étroit et ne contient qu'un nombre restreint de raies. L'écartement Δe de deux raies est mesuré au microscope comparateur.

Les résultats obtenus par cette méthode, ont été comparés à ceux que l'on déduit de la graduation du tambour du monochromateur. Les valeurs absolues étant prises égales pour la longueur d'onde $\lambda = 2500 \text{ \AA}$, on constate que l'ensemble des résultats se répartit bien en une seule courbe (Figure 6).

C) Etude de la transmission du monochromateur.

Le principe de la mesure consiste à comparer les valeurs de l'énergie d'une radiation quasi monochromatique avant et après la traversée du monochromateur. Le rapport des énergies mesurées donne le facteur de transmission pour la radiation considérée.

La lampe à hydrogène étant choisie comme source de rayonnement, ses radiations étaient isolées au moyen d'un monochromateur Leiss à prisme et lentilles de quartz. La fente de sortie de cet instrument servait de source monochromatique.

On supprimait la fente d'entrée du monochromateur Hilger étudié et on le disposait de manière à constituer avec le premier un monochromateur double, dans lequel la fente de sortie du premier appareil prenait exactement la place de la fente d'entrée du second. De façon à ne rien intercepter au flux lumineux incident, la fente de sortie du monochromateur était élargie au maximum. Comme on effectuait des mesures relatives, on a employé comme récepteur un photomul-

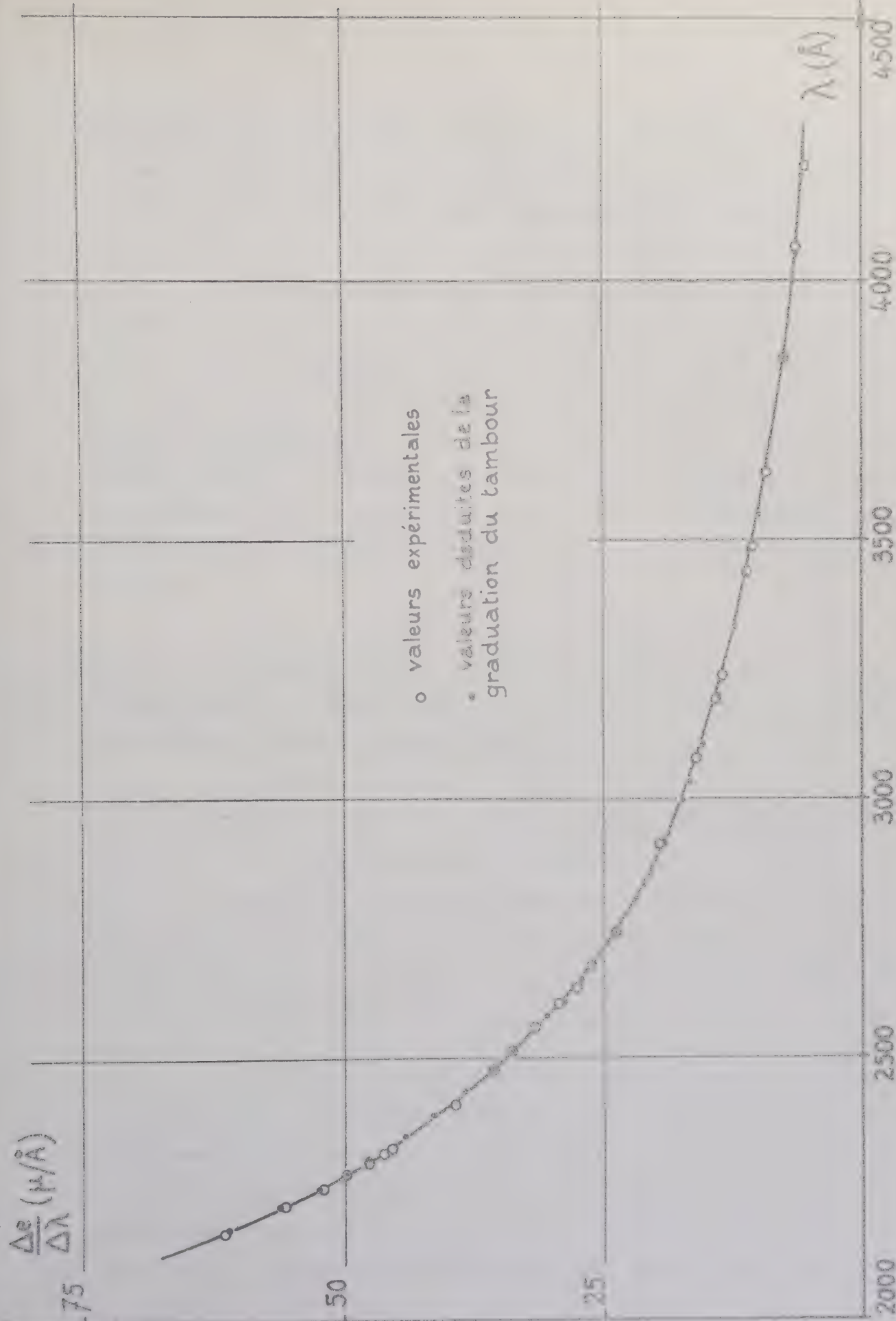


Figure 6

tiplicateur 1 P 28 RCA, plus sensible que la thermopile. Le récepteur était placé d'abord à la sortie du premier appareil, avant la mise en place du second, puis à la sortie de ce dernier.

De grandes précautions ont été prises pour placer le photomultiplicateur dans des conditions rigoureusement identiques avant et après le passage des radiations dans le monochromateur. Afin d'irradier la même plage de la photocathode dans les deux mesures (ce qui est indispensable en raison des différences de sensibilité constatées suivant la zone éclairée), il a été nécessaire d'intercaler devant le photomultiplicateur un diffuseur en quartz. Dans ces conditions, les erreurs dues au défaut d'uniformité de la surface photosensible sont fortement réduites.

Le tableau I donne les valeurs moyennes du facteur de transmission, obtenues à partir de 4 mesures, ainsi que les valeurs déduites de la courbe moyenne (Figure 7).

D) Détermination de la répartition spectrale énergétique du tube à hydrogène.

L'étude du rayonnement a été faite en plaçant le monochromateur Hilger D. 285 directement devant la fenêtre d'observation, sans lentille intermédiaire, la distance entre la fente et la fenêtre étant égale à 10 cm environ.

On utilisait comme récepteur la pile de Schwarz à fenêtre de quartz. Il a été nécessaire d'ouvrir assez largement les fentes du monochromateur de façon à avoir une sensibilité convenable (largeur de la fente d'entrée égale à celle de la fente de sortie = 0,3 mm). On a pris soin de vérifier que la lumière diffusée à l'intérieur du monochromateur n'intervient pas sensiblement pour fausser les mesures.

Dans ce but, on a interposé successivement devant la

fente d'entrée du monochromateur les écrans suivants :

a) un filtre Wratten 2 B coupant les radiations de longueur d'onde inférieure à $3900 \text{ \AA}$

b) un filtre constitué par une feuille de terphane, d'épaisseur $50 \text{ \AA}$ (équivalent français du mylar américain). Il s'agit d'un film organique de polyéthylène glycol qui coupe très franchement toutes les radiations inférieures à $3100 \text{ \AA}$. La figure 8 représente la variation avec la longueur d'onde du facteur de transmission de la feuille utilisée.

c) un filtre Corning n° 7380 absorbant les radiations de longueur d'onde inférieure à $3450 \text{ \AA}$.

Les différentes mesures ont porté sur les domaines spectraux compris entre $2200 \text{ \AA}$ et la longueur d'onde extrême du rayonnement transmis par chacun des filtres. On a ainsi constaté que, dans tous les cas, l'intensité diffusée est inférieure à quelques millièmes de l'intensité mesurée en l'absence de filtre. Comme la précision des déterminations spectrophotométriques ne sauraient atteindre cette limite, on n'a pas tenu compte de la lumière diffusée dans les mesures ultérieures.

D'autre part, on a examiné très soigneusement le comportement de la lampe au cours de la durée totale de son fonctionnement. Plusieurs mesures de l'intensité émise ont été effectuées, comme le montre la figure 8a. On note une baisse sensible de l'intensité des longueurs d'onde inférieures à $2400 \text{ \AA}$, baisse qui atteint 4 à 5 % au bout de 500 heures de fonctionnement et qui devient ensuite très lente. Cette dépréciation se retrouve, mais moins nette, pour les radiations comprises entre 2450 et $2600 \text{ \AA}$ mais au delà, l'intensité émise paraît

TABLEAU I

Transmission du monochromateur

λ (Å)	Valeurs moyennes	Valeurs déduites du tracé de la courbe
2100	8,3	8,3
2120	14,6	14,6
2140	20,3	20,3
2150	22,6	22,6
2160	24,8	24,8
2180	28,3	28,3
2200	31,4	31,4
2250	35,25	36
2300	39,20	39,20
2350	41,4	41,4
2400	43,25	44
2450	45,8	45,8
2500	47,3	47,3
2550	48,3	48,6
2600	49,6	49,7
2650	50,6	50,9
2700	52,0	51,9
2750	52,7	52,8
2800	53,2	53,4
2850	53,6	54,2
2900	54,0	54,8
2950	54,4	55,5

TABLEAU I (suite)

λ (Å)	Valeurs moyennes	Valeurs déduites du tracé de la courbe
3000	55,3	56
3100	56,4	56,9
3200	57,6	58
3300	58,5	58,6
3400	59,3	59,2
3500	59,75	59,75
3600	60	60,2
3700	59,5	60,6
3800	60,2	61
3900	60,1	61,2
4000	60,8	61,3
4100	60,75	61,34
4300	60,8	61,38
4500	61,6	61,42
4800	62,6	61,5
5000	61,2	61,52
5500	60,9	61,62
5800	61,4	61,68
6000	62,7	61,70

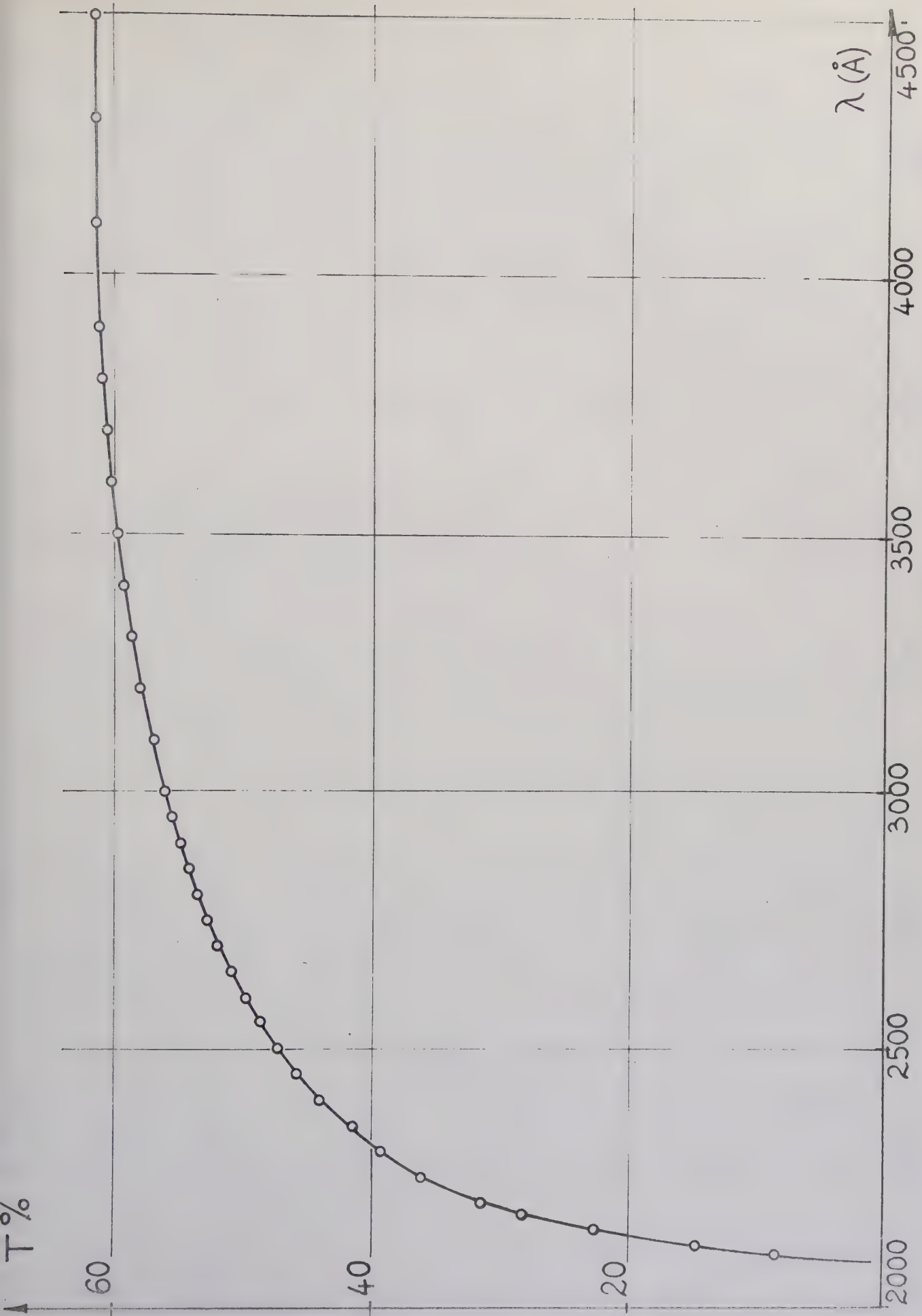


figure 7

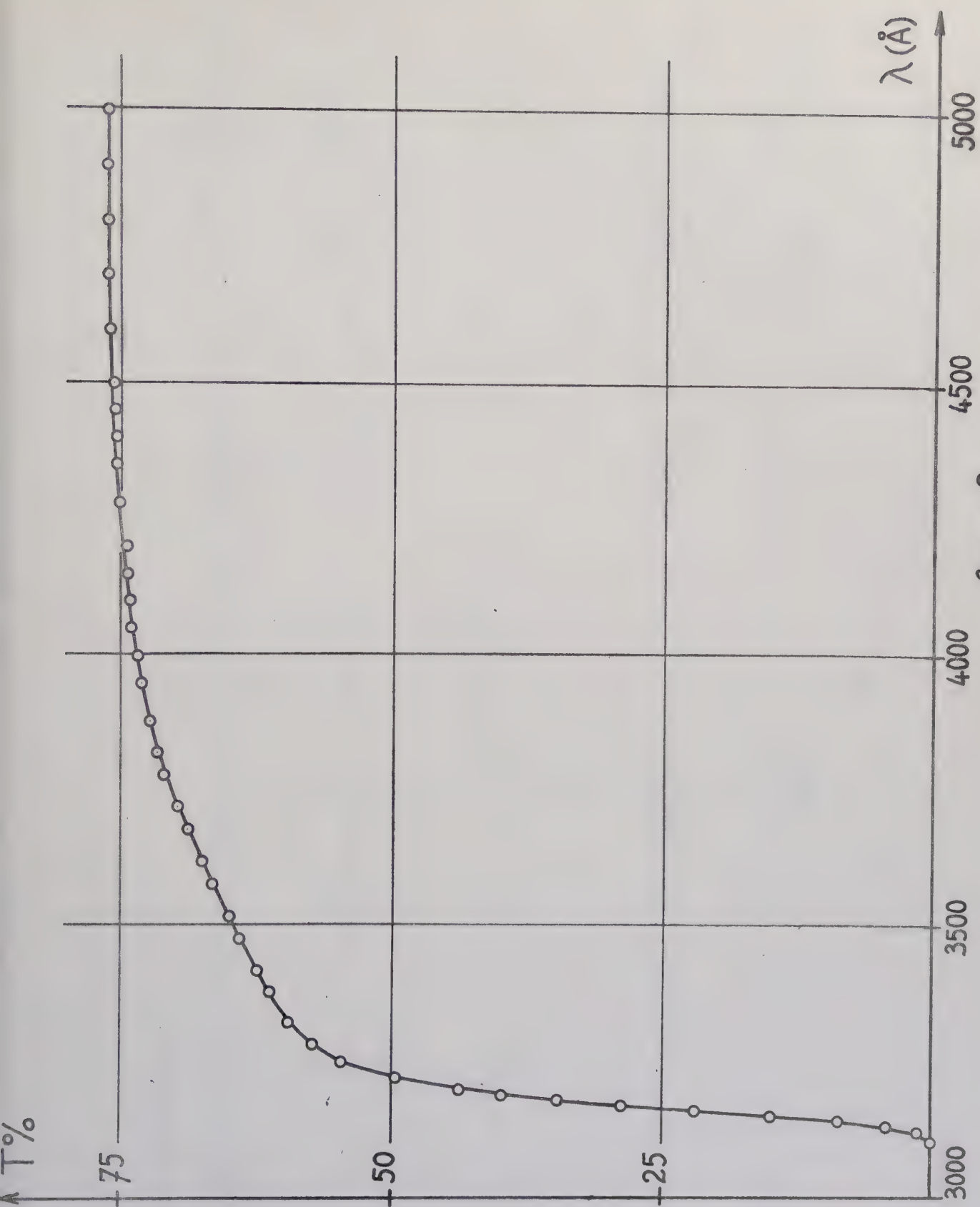


figure 8

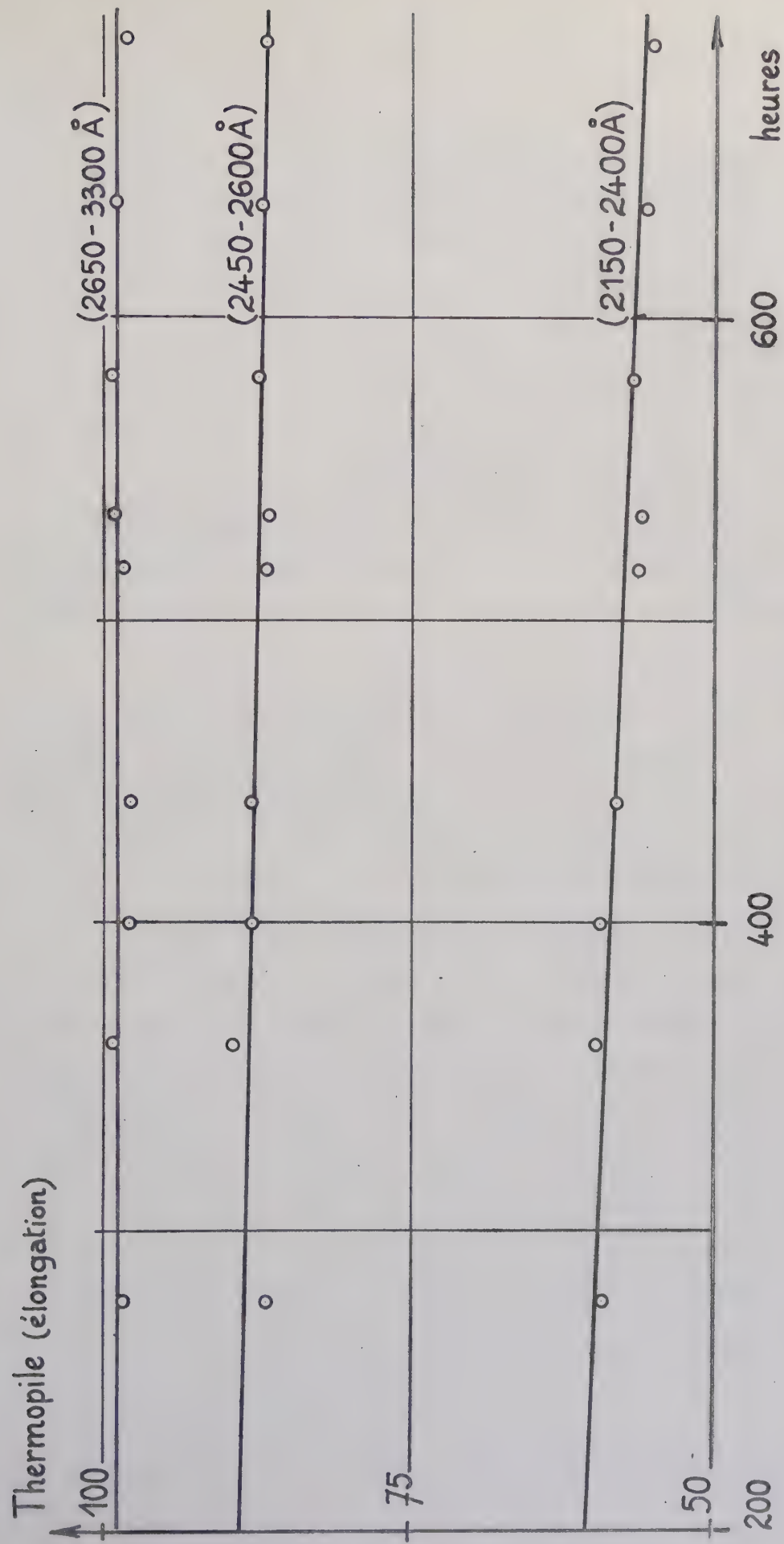


figure 8a

constante tout au cours du temps. De toute façon, au bout de 500 heures de fonctionnement du tube, on peut admettre que dans tout le domaine spectral 2150 - 4000 Å, la courbe d'énergie est suffisamment bien définie.

Afin de s'assurer que le récepteur utilisé ne présente aucune sélectivité et que la transmission de la fenêtre de quartz de la thermopile demeure constante dans tout le domaine spectral d'observation, des mesures ont été également effectuées en utilisant comme récepteur une pile de Schwarz à fenêtre de fluorine. On a trouvé que le rapport des mesures faites avec chacune des piles pour chaque longueur d'onde est pratiquement constant dans tout le domaine étudié.

L'énergie y émise par le tube à hydrogène se déduit des elongations x du galvanomètre secondaire, en tenant compte de la dispersion $\Delta = \frac{\Delta e}{\Delta \lambda}$ et de la transmission T du monochromateur. On peut écrire en effet

$$(y)_\lambda = \left(\frac{x}{T} \right)_\lambda \Delta$$

Le tableau II donne les intensités énergétiques relatives pour une intensité de courant de 1,3 A dans le tube à hydrogène et une tension à ses bornes de 2250 V. Ces ordonnées et la courbe correspondante (Figure 9) se rapportent à l'émission du tube et non à celle de la colonne lumineuse de la décharge, car on n'a pas pris en considération la légère modification résultant du passage du rayonnement émis par l'hydrogène à travers la fenêtre de Suprasil. Il a été également fait abstraction de quelques irrégularités dans le spectre dues à la présence de raies d'arc du silicium, provenant des parois de l'enveloppe. ()

On constate que l'intensité spectrale énergétique décroît

() irrégularités dont il a été cependant tenu compte dans les mesures comparatives.

rapidement vers les grandes longueurs d'onde. Dès $\lambda = 3650 \text{ \AA}$, le spectre de raies moléculaires se manifeste et son influence est telle qu'au-delà de $4000 \text{ \AA}$, il est impossible d'évaluer l'intensité propre du fond continu - du moins quand on utilise comme récepteur un appareil de sensibilité aussi faible que la pile thermoélectrique, puisque dans ces conditions on a dû ouvrir largement les fentes du monochromateur.

TABLEAU II

Intensité énergétique relative

λ (Å)	Intensité relative
2150	179,75
2200	193
2250 (au voisinage du max.)	200,5
2300	194,75
2400	169,25
2600	131
2800	100
3000	75,5
3200	58
3400	44,5
3600	34,5
3800	27,75
4000	23,5

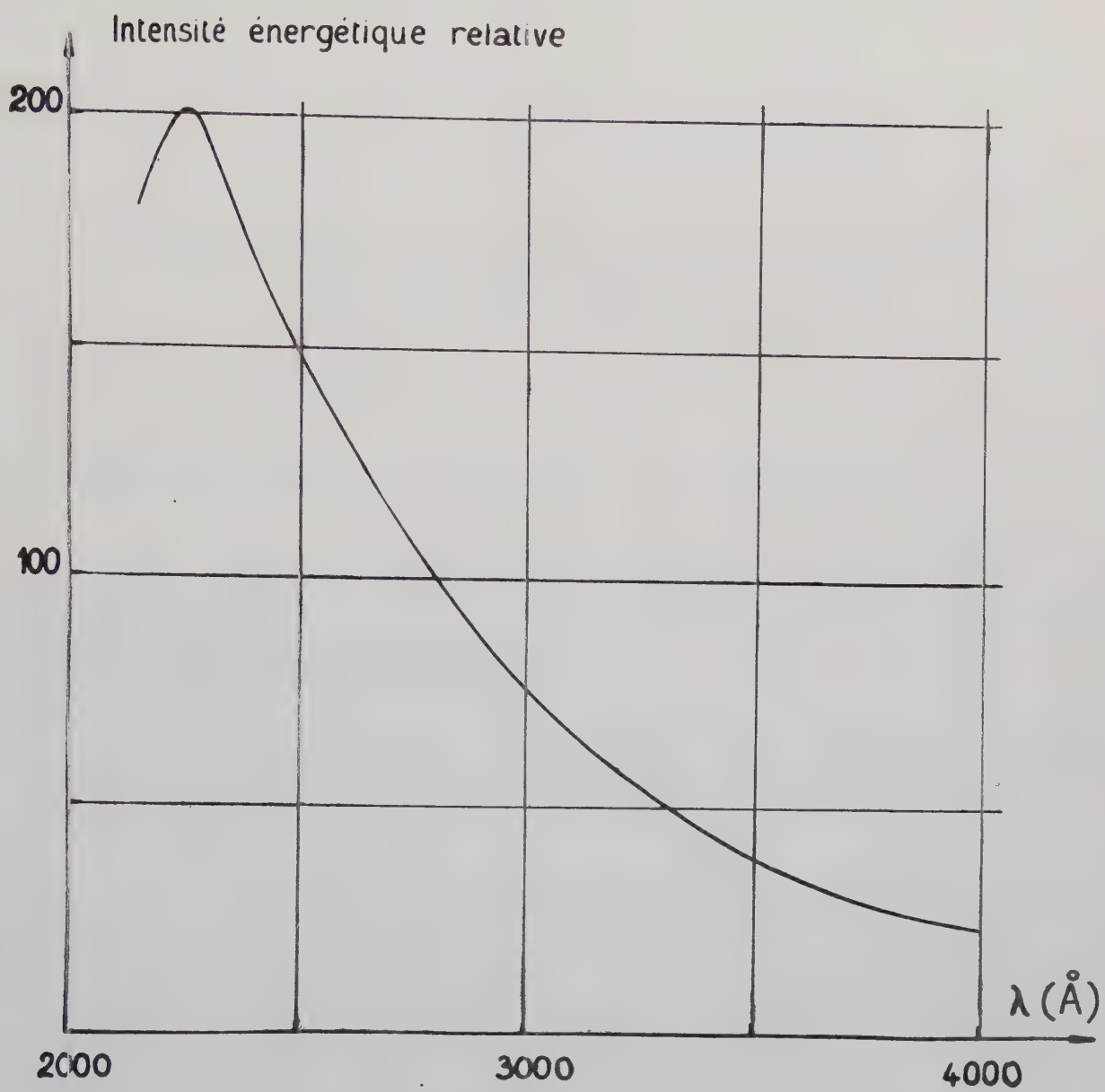


figure 9

CHAPITRE III

APPLICATIONS SPECTROPHOTOMETRIQUES DIVERSES DU TUBE A HYDROGENE.

A) Mesure des facteurs de transmission.

Grâce au spectre continu intense qu'il émet, le tube à hydrogène est une source commode pour mesurer la valeur des facteurs de transmission dans l'ultraviolet.

C'est ainsi que nous avons étudié la transmission de plusieurs filtres, de disques en silice et de diffuseurs en quartz.

Pour une même position du tambour du monochromateur, nous mesurons les intensités des courants débités par un photomultiplicateur l.P.28 d'abord directement, puis à travers la substance étudiée. Si la largeur de l'intervalle spectral isolé par le monochromateur est suffisamment faible, le rapport des intensités est égal au facteur spectral de transmission qu'il s'agit de déterminer.

La figure 10 représente les variations du facteur de transmission en fonction de la longueur d'onde de deux disques de silice,

l'un en silice Suprasil, l'autre en silice Spectrosil.

B) Détermination de la sensibilité spectrale de photomultiplicateurs dans l'ultraviolet.

Afin d'obtenir la courbe de sensibilité spectrale de photomultiplicateurs dans un domaine étendu 2200 - 6000 Å, il est nécessaire de disposer de sources émettant dans toute cette région un spectre continu dont la distribution spectrale énergétique soit connue.

La lampe à incandescence donne d'excellents résultats au-dessus de 3700 Å.

Nous avons utilisé à cet effet une lampe à incandescence fonctionnant dans des conditions bien définies de façon à obtenir une température de couleur de 2854°K, ce qui correspond à la répartition spectrale de l'illuminant A. Le rayonnement de la lampe tombe sous ^{une} incidence de 45° sur un écran de magnésie placé à une vingtaine de cm du monochromateur, normalement à l'axe du collimateur. Le flux issu du monochromateur est reçu par le photomultiplicateur, disposé à 20 cm de la fente de sortie de manière à ce que toute la surface de la photocathode soit éclairée.

Si y_{λ} est l'énergie de la lampe pour une certaine longueur d'onde λ ,

i_{λ} l'intensité du photocourant pour cette même longueur d'onde,

Δ_{λ} et T_{λ} la dispersion et la transmission correspondants du monochromateur,

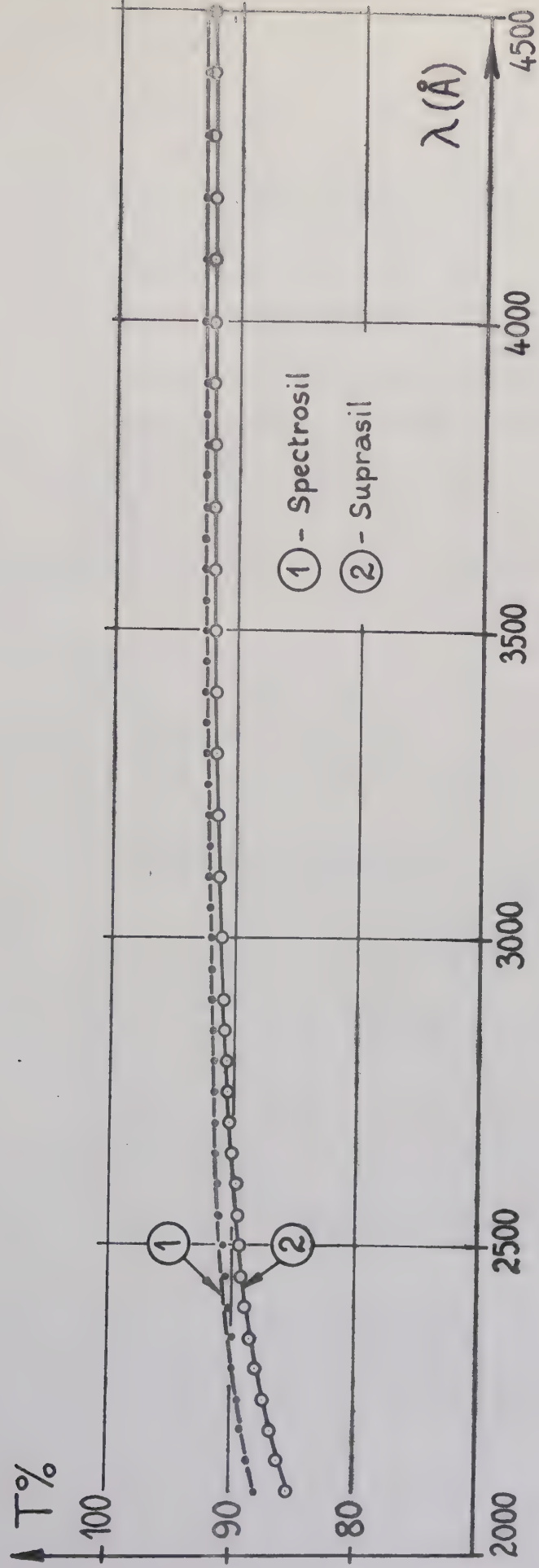


Figure 10

la sensibilité du photomultiplicateur est égale à :

$$s_{\lambda} = \frac{\Delta_{\lambda} - i_{\lambda}}{T_{\lambda} y_{\lambda}}$$

Le facteur spectral de réflexion diffuse de la magnésie peut-être considéré comme constant et très peu différent de l'unité dans le domaine spectral étudié.

Dans le domaine 2200 - 4000 Å, nous avons utilisé comme source de rayonnement le tube à hydrogène. Des mesures d'énergie ayant été effectuées au préalable avec la thermopile, nous avons repris les mesures exactement dans les mêmes conditions, au moyen du photomultiplicateur, en disposant ce dernier à une vingtaine de cm de la fente de sortie du monochromateur.

La sensibilité du photomultiplicateur étant très supérieure à celle de la thermopile, il a été nécessaire d'affaiblir le flux reçu. Nous avons placé, dans ce but, devant la fente d'entrée du monochromateur une grille dont le facteur de transmission, égal à 8%, a été vérifié être constant dans le domaine considéré.

Le rapport des intensités des courants débités par le photomultiplicateur et par la thermopile dans ces deux mesures permettent de connaître la sensibilité du photomultiplicateur.

Grâce aux mesures effectuées à l'aide des deux sources, dans la région comprise entre 3700 Å et 4000 Å, on pouvait ajuster les courbes de sensibilité spectrale déduites des deux groupes de mesures.

La figure 11 donne, à titre d'exemple, la courbe obtenue pour un photomultiplicateur RCA 1P 28.

C) Etude des spectres d'excitation des produits luminescents.

Le tube à hydrogène a été très souvent utilisé pour obtenir les spectres d'excitation de poudres fluorescentes dont la lumière excitatrice se trouve dans l'ultraviolet.

Derrière la fente de sortie du monochromateur, étaient placés la poudre déposée sur un disque en verre, puis un filtre approprié de façon à arrêter la lumière excitatrice qui aurait pu traverser le disque en verre. Un photomultiplicateur, sensible dans le visible, recevait la lumière de fluorescence émise par la poudre sous l'effet des radiations ultraviolettes.

La figure 12 donne, à titre d'exemple, le spectre d'excitation du tungstate de Cadmium.

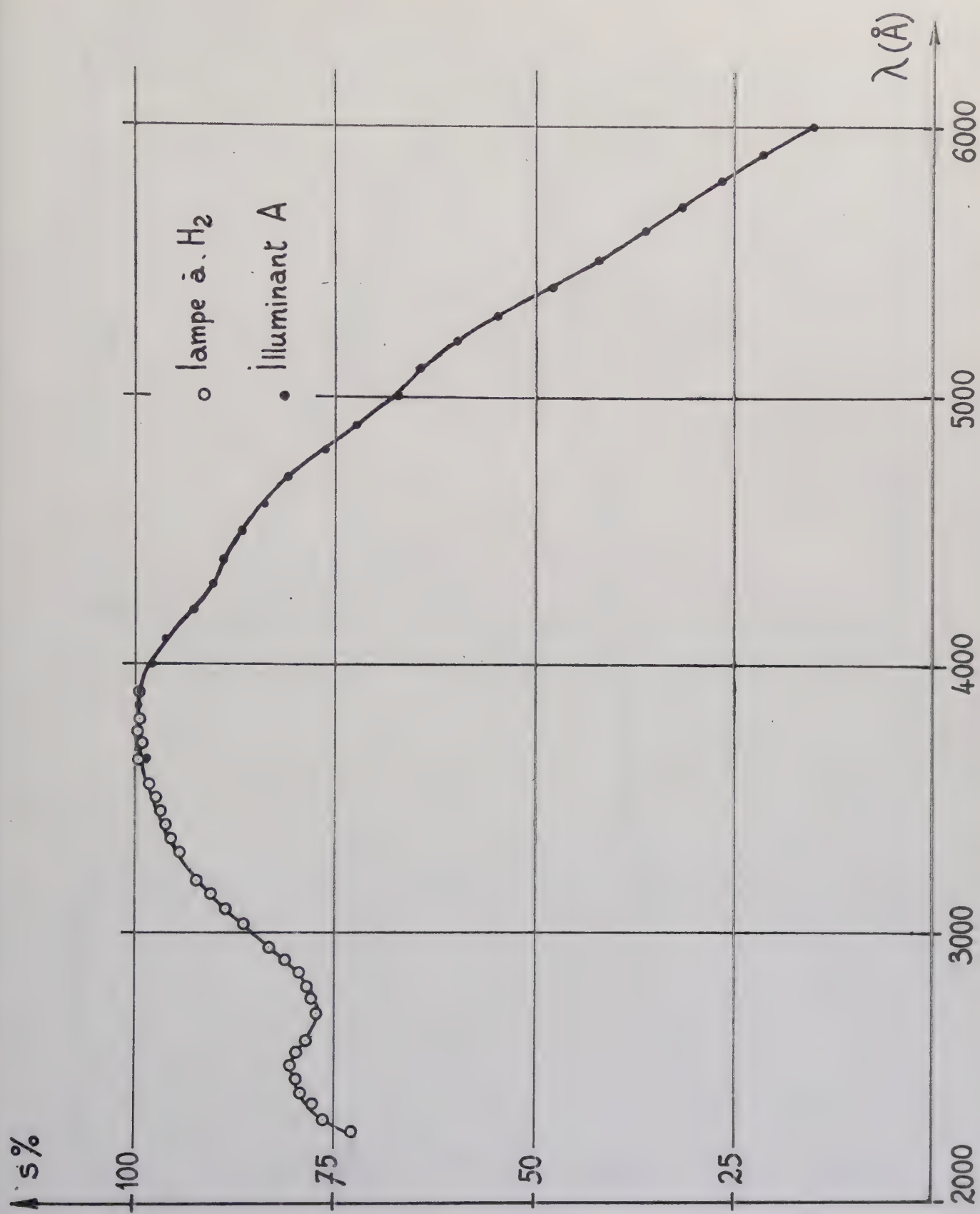


figure 11

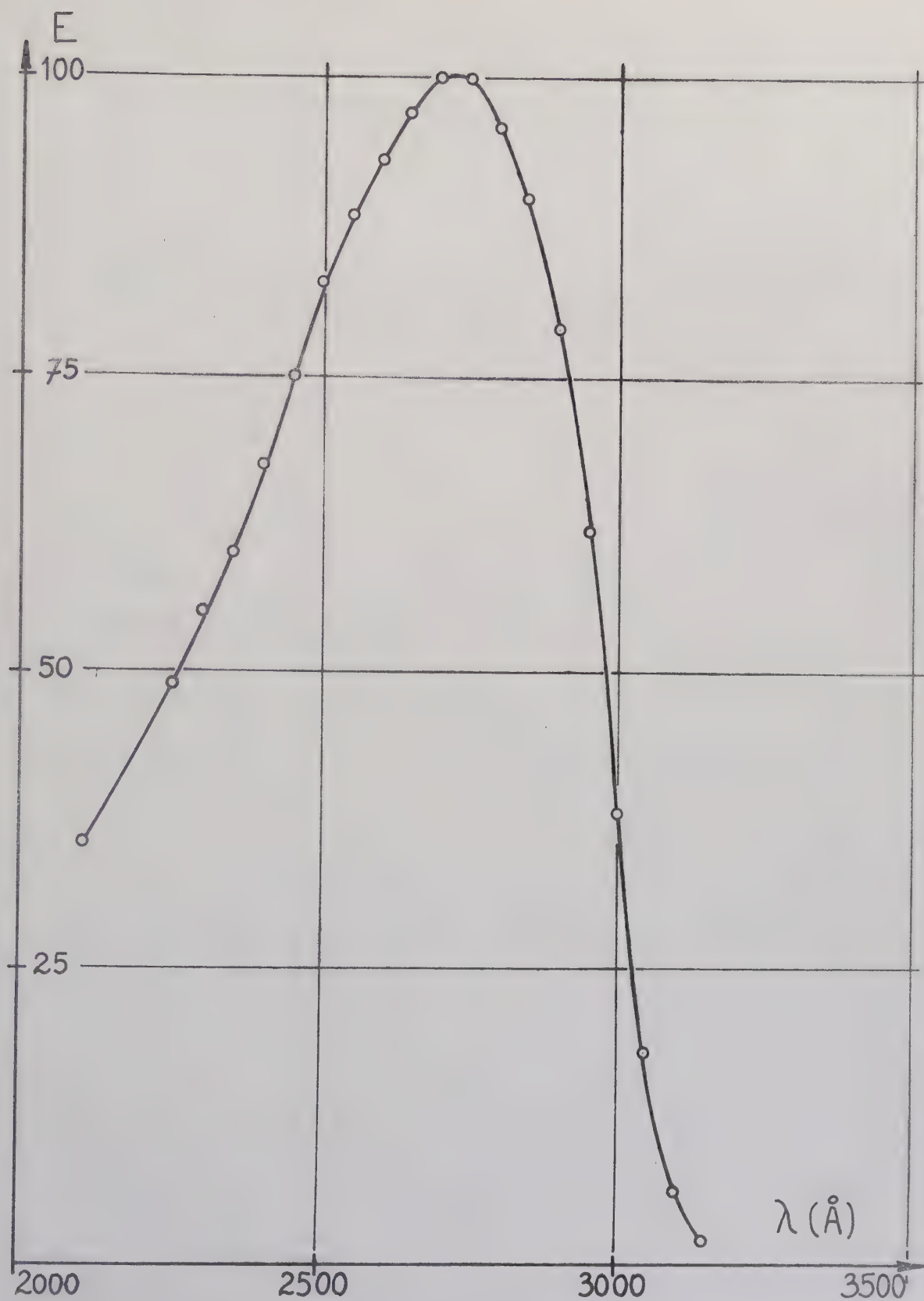


figure 12

CHAPITRE IV

ENERGIE RAYONNEE PAR LE TUBE A HYDROGENE DANS DIFFERENTS INTERVALLES SPECTRAUX.

La détermination de la répartition spectrale du tube à hydrogène ayant été effectuée, il nous a paru intéressant de donner en valeur absolue l'éclairement énergétique produit dans certaines conditions par cette lampe.

Une source de référence, étalonnée rigoureusement, était nécessaire. Nous avons fait appel aux lampes à vapeur de mercure dites "normales" dont le laboratoire disposait de deux exemplaires. Ces lampes, dont une description détaillée sera donnée au chapitre V, sont fabriquées par la Société Osram. Leur spectre (pression de la vapeur de mercure voisine de 1,5 atmosphères) se compose d'un fond continu sur lequel se détachent les principales raies du mercure. Le certificat d'essai joint à chaque lampe, indique, en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, la valeur absolue à 4% près, de l'éclairement énergétique $(E_{\text{Hg}})_{3650}$ à une distance de 1m du milieu du tube, dans une direction perpendiculaire à son axe, produit par le groupe de raies vers 3650 Å (le fond continu étant exclu), dans des conditions de fonctionnement qui seront précisées plus loin.

A) Principe de la méthode.

La méthode employée est basée sur la comparaison, dans

des conditions identiques de la source étudiée H et de la source de comparaison Hg.

L'étude du spectre de chaque lampe nous permet de tracer la courbe $I = f(\lambda)$. Si on désigne par S_H et S_{Hg} les surfaces comprises entre la courbe $I = f(\lambda)$, l'axe des abscisses et deux ordonnées λ_1 et λ_2 , le rapport $\frac{S_H}{S_{Hg}}$ est proportionnel au rapport des éclairagements énergétiques produit dans l'intervalle spectral λ_1 , λ_2 respectivement par la lampe à hydrogène et par la lampe "normale".

B) Dispositif expérimental.

Une source étendue doit être comparée à une source de géométrie voisine, afin que les trajets des faisceaux à l'intérieur du monochromateur soient sensiblement les mêmes dans les deux cas. Pour respecter cette condition, nous avons utilisé un diffuseur constitué par un disque blanc de carbonate de magnésium $MgCO_3$ fritté provenant du laboratoire d'essai du C.N.A.M. Placé à une distance convenable de la fente d'entrée du monochromateur Hilger D.285, normalement à l'axe du collimateur, il pouvait être éclairé sous une incidence de 45° , d'un côté par la lampe à hydrogène et de l'autre par la lampe "normale". Le diffuseur était situé exactement à 1m de la lampe "normale" et à 50cm de la fenêtre du tube à hydrogène.

Comme récepteur, nous avons utilisé un photomultiplicateur RCA 1 P 28, muni d'un diffuseur en quartz. Le courant débité était enregistré par un galvanomètre Sefram.

C) Etude de l'indicatrice de diffusion du disque de carbonate de magnésium.

La méthode de comparaison employée n'est valable que si

le disque de Mg CO_3 diffuse d'une façon symétrique par rapport à la normale.

Pour nous assurer de ce fait, nous avons utilisé le montage indiqué par la figure 13. Au centre d'une plateforme graduée, dans la direction de son axe, nous avons disposé le diffuseur. Il recevait sous une incidence qu'il était possible de modifier à volonté la raie $2537 \text{ \AA}$ d'une lampe à mercure.

Le photomultiplicateur était fixé sur une alidade qui tournait autour de l'axe de la plateforme. Un vernier en repérait la position.

La raie $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ était isolée au moyen d'un spectrographe qui avait été transformé en monochromateur. Un cache disposé à la place de la plaque photographique ne laissait en effet passer que la longueur d'onde désirée, ceci afin d'envoyer sur le photomultiplicateur une énergie relativement faible.

Nous avons étudié la réponse du photomultiplicateur pour des positions symétriques de la source par rapport à la normale au diffuseur et pour des incidences variant de 40 à 50° .

La figure 14 représente les indicatrices de diffusion pour deux incidences symétriques : $i = 45^\circ$ et $i = 135^\circ$. Nous voyons que les deux courbes sont parfaitement symétriques par rapport à la normale.

Si l'on porte en abscisse des longueurs proportionnelles

au cosinus des angles et en ordonnées des valeurs proportionnelles à l'intensité, nous voyons que la courbe obtenue s'écarte relativement peu d'une droite (figure 15).

D) Etude de l'éclairement énergétique produit par la lampe à hydrogène dans différents intervalles spectraux.

Les largeurs maintenues invariables, des fentes d'entrée et de sortie du monochromateur, étaient égales à 0,125 et 0,450mm. Le spectre de la lampe normale a été exploré de 5 en 5 Å entre 3600 et 3700 Å. Le groupe de raies vers 3650 Å se manifestait par une protubérance placée au-dessus de la courbe de fond continu. Désignons par S_{Hg} l'aire de cette protubérance.

Le spectre de la lampe à hydrogène étudié dans le même intervalle nous a conduit au tracé de la courbe $I = f(\lambda)$. Nous avons mesuré l'aire comprise entre cette courbe, l'axe des abscisses et les ordonnées extrêmes 3600 et 3700 Å. Soit S_H sa valeur.

Comme les conditions expérimentales étaient les mêmes dans les deux cas, la dispersion et la transmission du monochromateur, ainsi que la sensibilité du photomultiplicateur demeurant identiques puisque le même intervalle spectral était étudié, nous pouvons calculer l'éclairement énergétique produit par la lampe à hydrogène dans le domaine 3600-3700 Å.

$$(E_H)_{3600-3700 \text{ Å}} = (E_{Hg})_{3650} \frac{S_H}{S_{Hg}}$$

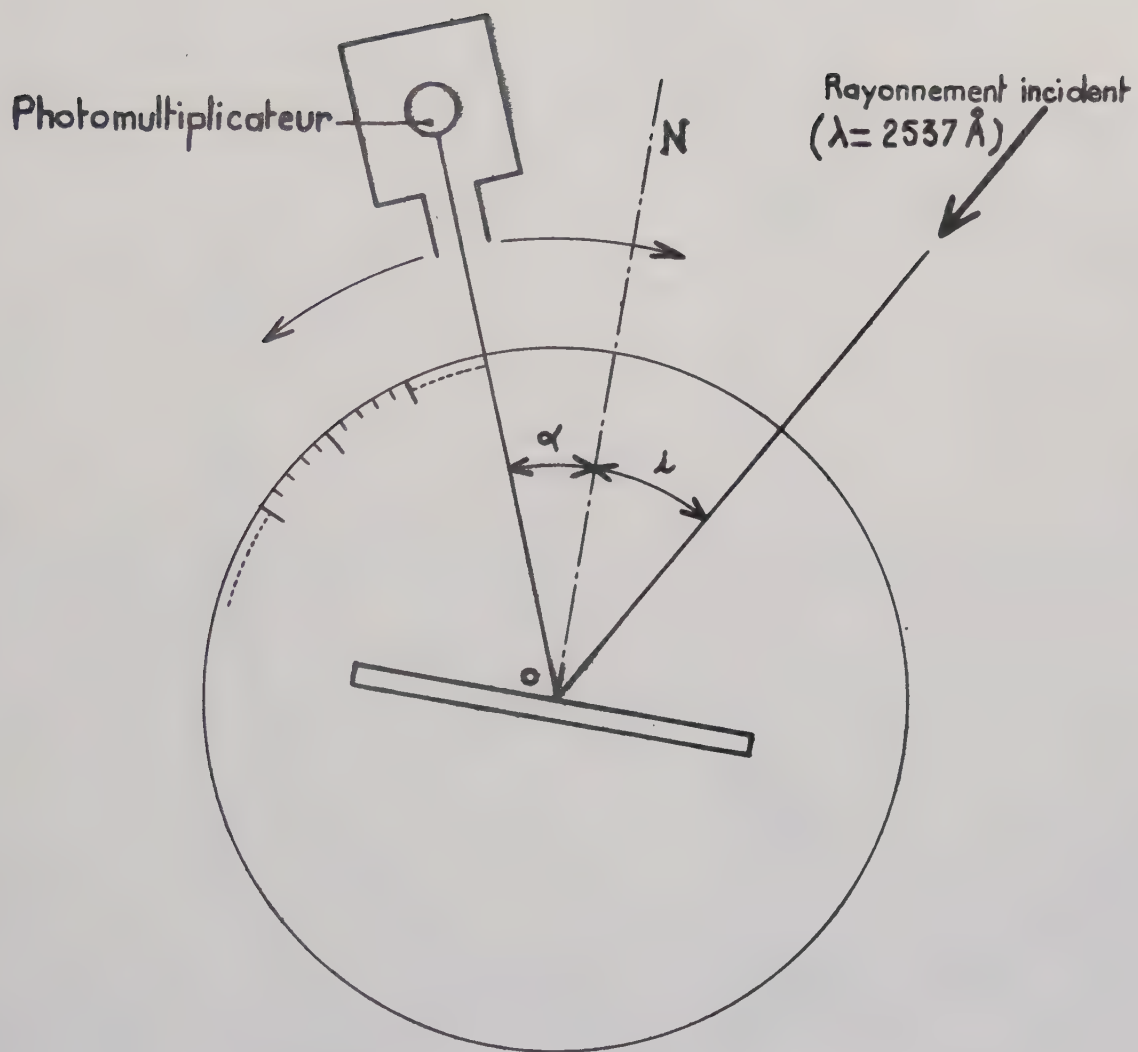
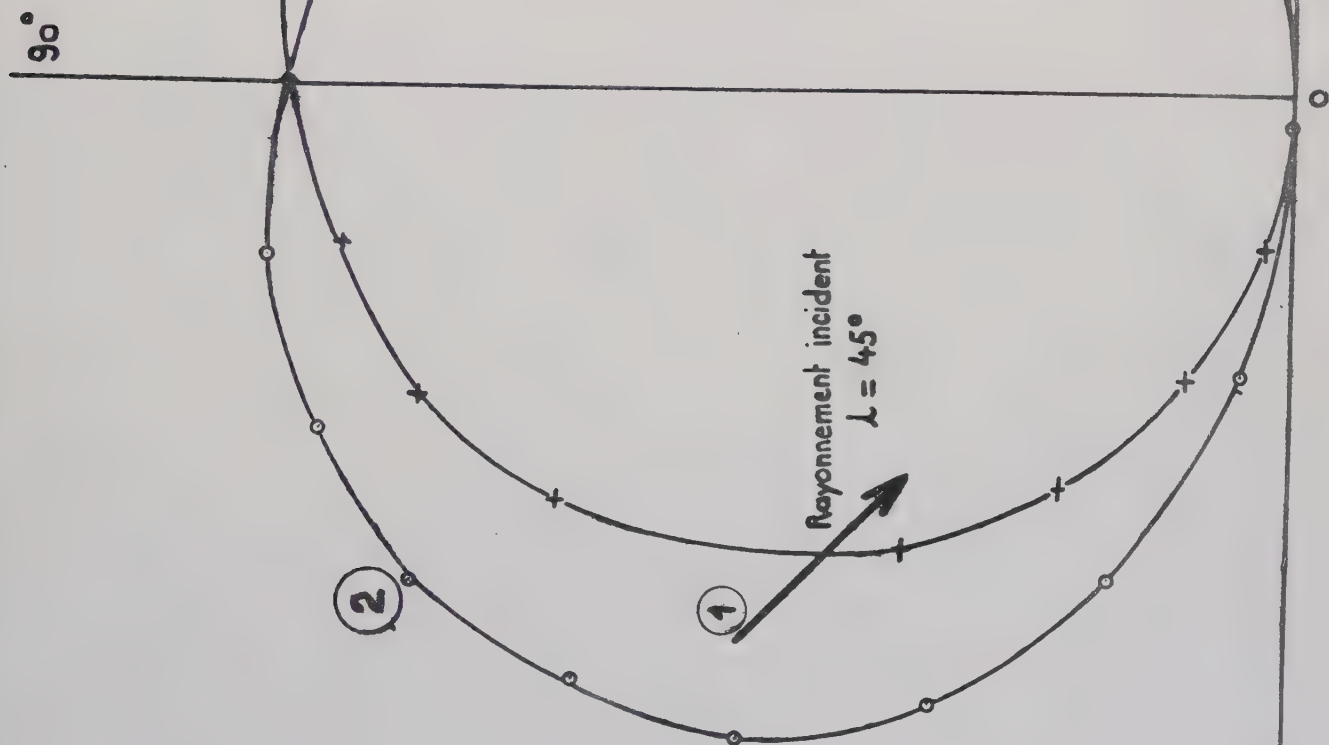


figure 13



Courbe 1 $\lambda = 45^\circ$ +
 Courbe 2 $\lambda = 135^\circ$ o

Figure 14

angle du rayonnement incident

○ $i = 45^\circ$

● $i = 135^\circ$

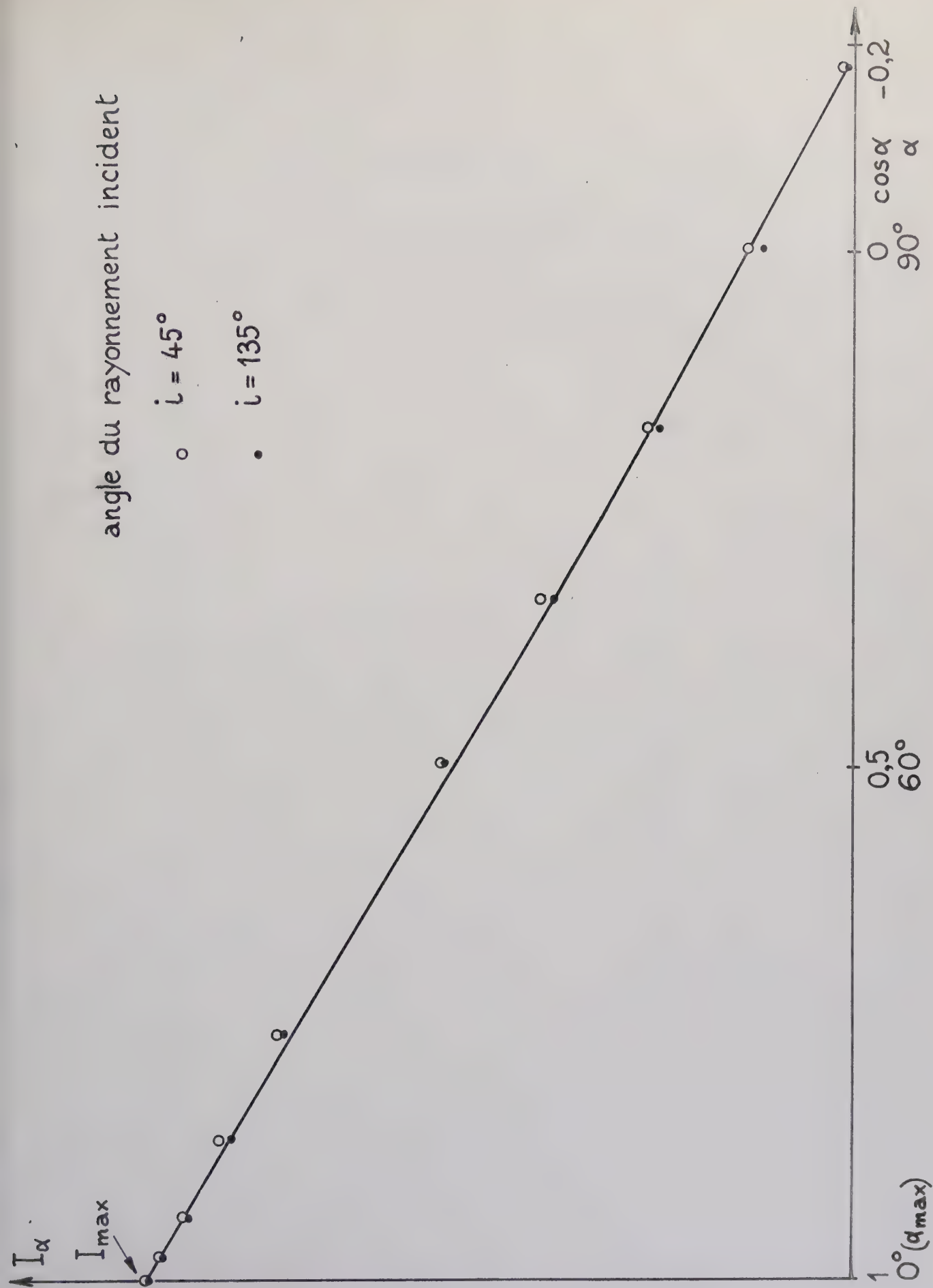


figure 15

TABLEAU III

Eclairement énergétique par Å

λ (Å)	E ($\text{W} / \text{cm}^2 / \text{Å}$)	λ (Å)	E ($\text{W} / \text{cm}^2 / \text{Å}$)
2175	0,25	3100	0,090
2200	0,26	3150	0,083
2250	0,27	3200	0,079
2300	0,26	3250	0,073
2350	0,24	3300	0,068
2400	0,23	3350	0,064
2450	0,21	3400	0,060
2500	0,20	3450	0,055
2550	0,19	3500	0,052
2600	0,175	3550	0,049
2650	0,16	3600	0,046
2700	0,15	3650	0,043
2750	0,14	3700	0,041
2800	0,13	3750	0,039
2850	0,125	3800	0,037
2900	0,12	3850	0,035
2950	0,11	3900	0,034
3000	0,10	3950	0,0325
3050	0,095	3975	0,032

La courbe $y = f(\lambda)$ représentant la variation de l'intensité énergétique relative émise par le tube à hydrogène en fonction de la longueur d'onde a été tracée (figure 9). La planimétrie de l'aire comprise entre cette courbe, l'axe des abscisses et deux ordonnées λ_1 et λ_2 , nous fournit une valeur proportionnelle à l'éclairement énergétique produit par le fond continu dans le domaine $\lambda_1 - \lambda_2$. Connaissant la valeur absolue de l'éclairement E_H pour le domaine spectral 3600-3700 Å, on peut alors calculer ce facteur de proportionnalité.

Le tableau III donne les valeurs de l'éclairement énergétique par Å produit par le spectre continu à une distance de 50 cm de la fenêtre du tube à hydrogène, dans une direction perpendiculaire à son axe, quand celui-ci est traversé par une intensité de courant de 1,3 A.

CHAPITRE V

REPARTITION SPECTRALE ENERGETIQUE DE LA LAMPE "NORMALE" A VAPEUR DE MERCURE.

Disposant au laboratoire de deux étalons secondaires dans l'ultraviolet, aussi différents que le sont la lampe "normale" à vapeur de mercure et le tube à hydrogène, nous avons cherché à les comparer et à étudier la répartition énergétique relative du spectre continu des lampes "normales".

A) Principe de la méthode.

La méthode employée consiste à comparer, dans des conditions identiques, les énergies pseudo-monochromatiques E_e et E_s , émises dans les mêmes intervalles spectraux, par la source étudiée E et par une source de comparaison S de répartition spectrale connue. En désignant par G_e et G_s les élongations correspondantes du galvanomètre, on a évidemment pour chaque longueur d'onde :

$$E_e = \frac{E_s \cdot G_e}{G_s}$$

On peut ainsi tracer la courbe spectrale $E = f(\lambda)$ pour chacun des brûleurs étudiés.

Dans le cas d'une source à spectre continu, l'aire

comprise entre la courbe $E_e = f(\lambda)$, l'axe des abscisses et les ordonnées λ_1 et λ_2 est proportionnelle à l'énergie transportée par les radiations de longueurs d'onde comprises entre λ_1 et λ_2 /5/.

S'il s'agit d'une source émettant à la fois un spectre de raies et un spectre continu, une raie de longueur d'onde λ pénètre dans le champ de la fente de sortie pour une longueur d'onde $\lambda_1 < \lambda$; elle disparaît pour une longueur d'onde $\lambda_2 > \lambda$. Son passage se traduit par une protubérance AMB se superposant à la courbe de fond continu. On trace par interpolation la portion AB de fond continu de manière à ce qu'elle se raccorde exactement avec les parties adjacentes de la courbe obtenue en dehors de la raie examinée (figure 16). Il a été démontré de même que l'aire S de la protubérance AMB est proportionnelle à l'énergie de la raie de longueur d'onde λ , tandis que la surface $AB\lambda_2\lambda_1$ représente l'énergie du fond continu dans l'intervalle $\lambda_1 - \lambda_2$.

A partir de la courbe $E_e = f(\lambda)$, on déduit donc par interprétation graphique l'énergie des raies et celle du fond continu.

B) Conditions expérimentales.

Nous avons eu recours au dispositif expérimental décrit dans le chapitre précédent et que rappelle la figure 17.

Par tâtonnement, nous avons recherché quelle devait être la largeur à donner aux fentes d'entrée et de sortie du monochromateur afin d'obtenir, d'une part des aires facilement intégrables, d'autre part, une résolution convenable.

L'expérience nous a montré qu'il convient d'utiliser une fente fine à l'entrée afin que les élongations ne soient pas trop grandes lorsque l'image de chaque raie défile entre les lèvres de la fente de sortie. Par contre, cette dernière doit être assez large pour que le photomultiplicateur reçoive une énergie suffisante au cours de l'exploration du spectre continu de la lampe de comparaison. Ces conditions expérimentales nous permettent d'obtenir, pour les raies, de larges "protubérances" dont les aires sont suffisamment grandes pour être mesurées avec précision.

Nous avons utilisé des largeurs de fentes d'entrée et de sortie respectivement égales à 0,2 et 0,75 mm pour l'étude du spectre de raies et à 0,125 mm et 0,450 mm, lorsqu'on étudiait en même temps le fond continu émis par la source. L'exploration du spectre continu du tube à hydrogène, dans les mêmes conditions, nous permet de calculer la constante d'étalonnage du dispositif de mesure, qui est donnée par :

$$(K)_\lambda = \left(\frac{E_s}{G_s} \right)_\lambda$$

C) Emission de la lampe "normale" à vapeur de mercure.

Pour nous assurer de la validité de la courbe d'énergie du tube à hydrogène, nous avons déterminé la distribution de l'énergie dans le spectre de raies de la lampe "normale". Cette lampe construite d'après les données de Krefft, Rossler et Rüttner^{/6/} a été étudiée par de nombreux expérimentateurs. Elle est constituée par un tube cylindrique de silice fondue (diamètre extérieur : 20 mm, longueur : 120 mm) dont les extrémités entourant les électrodes, sont

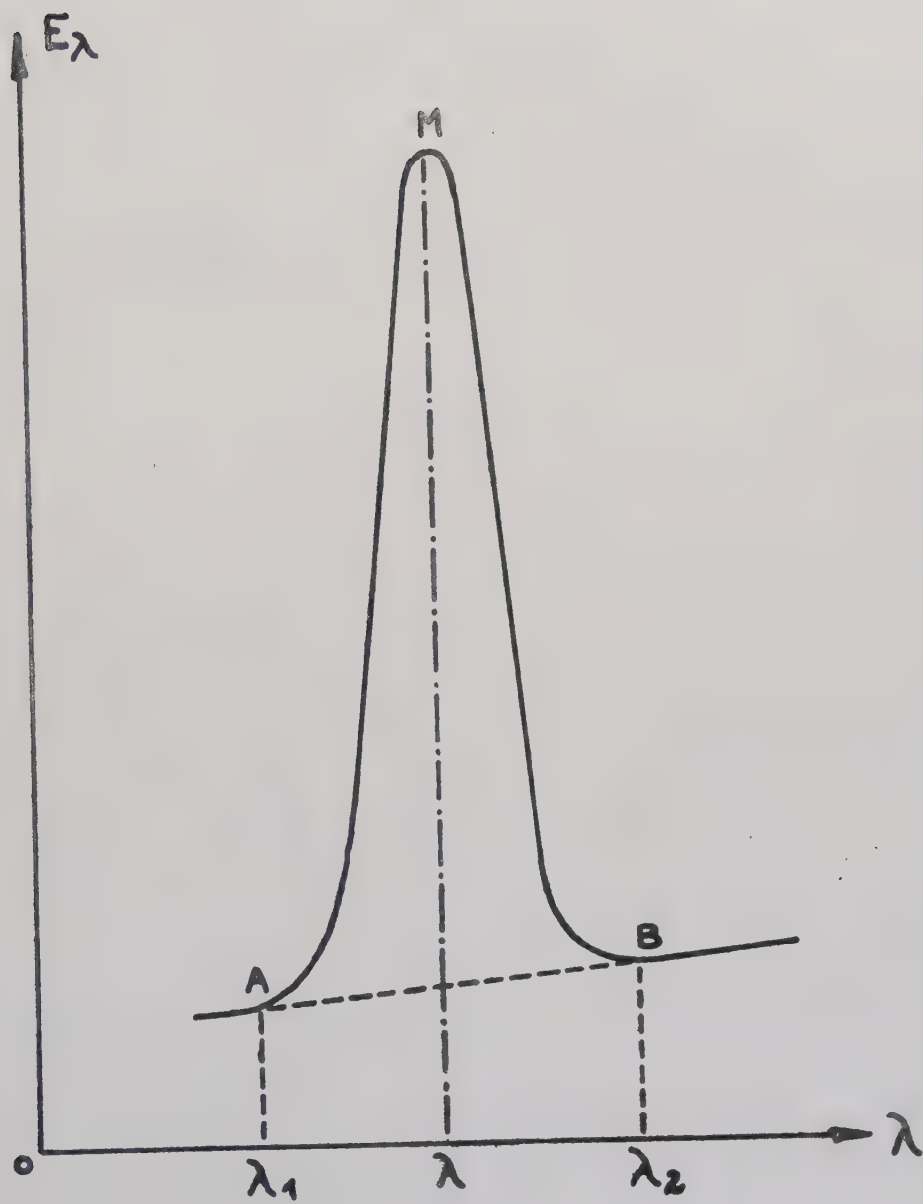


figure 16

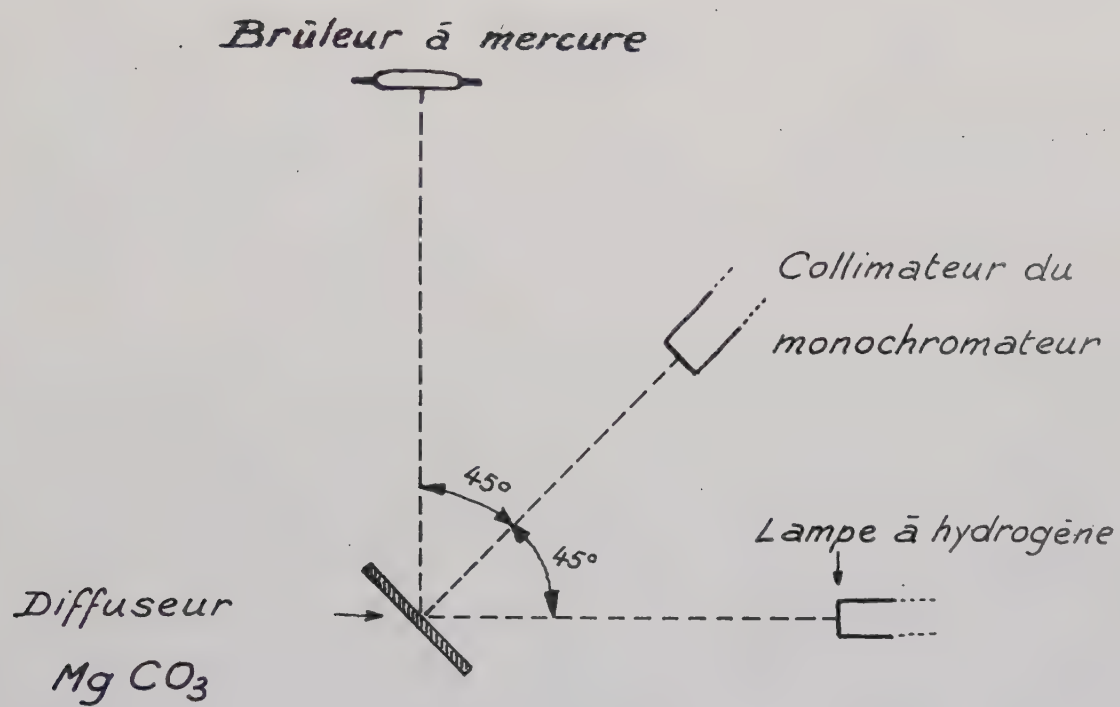


figure 17

recouvertes de manchons opaques qui limitent à 80 mm la longueur de la portion centrale d'où provient le rayonnement (figure 18). Elle est placée verticalement dans une enceinte métallique (comportant une ouverture de 100 x 30 mm), fournie par le fabricant (Société Osram). En se rapportant aux instructions du constructeur, on a réalisé le montage que reproduit la figure 19. On applique à la lampe une tension continue d'au moins 220 V et, lorsque le mercure est complètement vaporisé et la décharge bien stabilisée, on règle à l'aide d'une résistance convenable, l'intensité du courant à 2,00 A. Un ampèremètre Trub-Taüber, de classe 0,15, sert d'appareil de contrôle. On le court-circuite à l'allumage. La tension d'arc est alors de 120 à 130 V et la puissance consommée d'environ 250 W.

Le constructeur recommande d'adopter pour les intensités relatives des raies émises les valeurs moyennes résultant des mesures de L.H.M. Van Steckelenburg (1955), portant sur 8 lampes dont l'émission a été comparée, à l'aide d'un monochromateur double, à celle d'une lampe à ruban de tungstène. Elles sont indiquées dans le tableau IV, l'intensité globale du groupe de raies vers 3650 Å étant prise arbitrairement égale à 100. Les valeurs concernant chaque lampe peuvent s'écarter de $\pm 2\%$ de la valeur moyenne, mais l'incertitude des mesures individuelles est inférieure au centième si l'on maintient constante et égale à 2,00 A l'intensité du courant.

Nous disposons de deux lampes normales n° 383 ($E_{3650} = 58,4 \mu\text{W/cm}^2$) et n° 392 ($E_{3650} = 64,3 \mu\text{W/cm}^2$). Nous avons pu ainsi vérifier que la répartition spectrale de l'énergie varie peu d'une lampe à l'autre, aussi bien dans l'ultraviolet que dans la région visible. Pour faire cette comparaison, nous avons enregistré le spectre

à l'aide d'un spectrophotomètre Lérès, type T 2D dans des conditions rigoureusement identiques (le courant était réglé à 2,00 A et la distance entre chaque lampe et un diffuseur de magnésie placé devant la fente d'entrée de l'appareil était exactement la même.) Dans l'intervalle de 2640/52 à 5770/90 Å, le rapport des élongations maximales relatives aux raies, au-dessus du fond continu, obtenues respectivement avec les lampes n° 392 et 383, varie de 1,06 à 1,15, l'écart par rapport à la valeur moyenne restant compris entre -4,5 % et 3,6% (tabl. V). Pour apprécier ce résultat, qui a été confirmé à diverses reprises, il faut tenir compte de l'incertitude dans l'emploi de l'appareil Lérès, qui est d'environ 2 %. Il convient aussi de noter que la valeur moyenne 1,11 est très voisine du rapport 1,10 des valeurs de E_{3650} correspondant, d'après les certificats d'essais, aux deux lampes considérées (on a d'ailleurs trouvé exactement 1,10 pour le rapport des élongations maximales relatives au groupe de raies voisines de 3650 Å). Enfin, au cours des précédentes opérations, on a constaté que la courbe d'enregistrement ne dépend pas sensiblement de légères variations de l'intensité du courant, autour de 2,00 A, du moins entre 1,95 A et 2,04 A.

Nous avons déterminé la distribution de l'énergie dans le spectre de raies de la lampe à mercure "normale" n° 392, à partir de celle du rayonnement de la lampe à hydrogène. Le spectre a été exploré, à des intervalles de 5 ou 10 Å, entre 2100 et 4000 Å. Les intensités énergétiques relatives des raies (valeurs obtenues dans deux séries de mesure et valeur moyenne), pour la lampe n° 392, sont indiquées dans le tableau VI. Dans le tableau VII, sont consignées, à titre de comparaison, les valeurs publiées par Van Stekelenburg et Rössler.

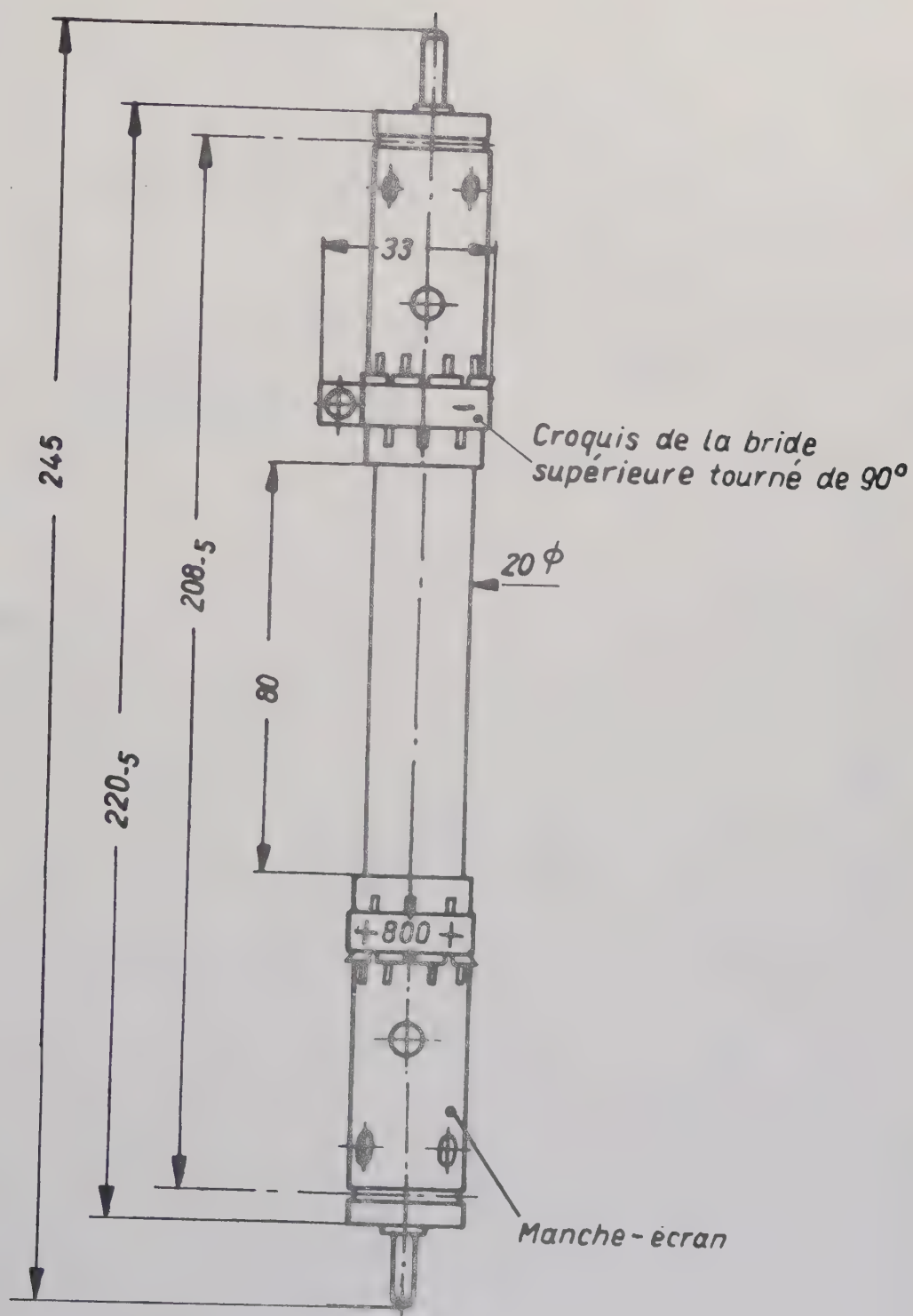


Figure 18

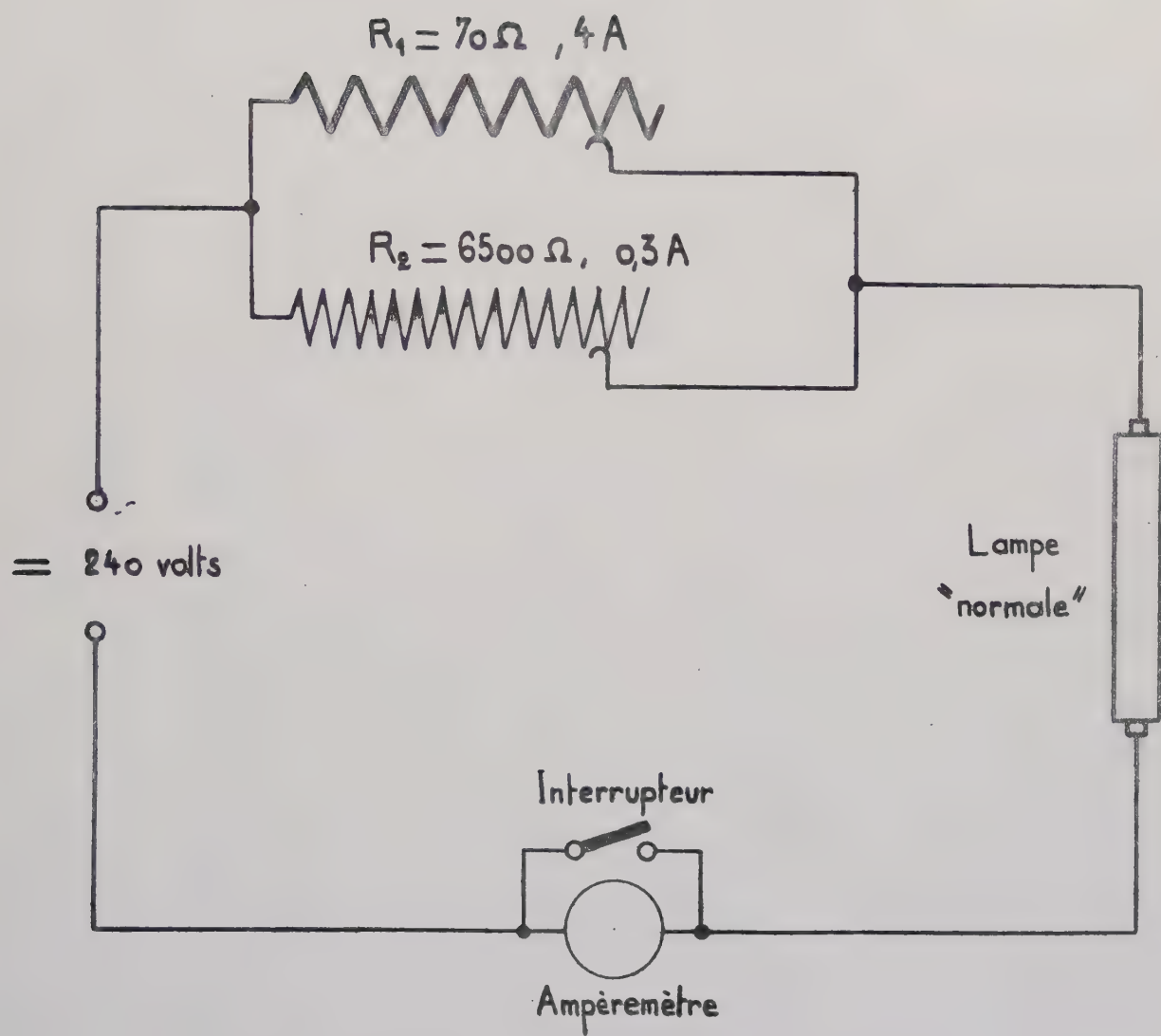


figure 19

TABEAU IV

Lampe "normale" à vapeur de mercure

λ (Å)	Intensité énergétique relative
2640/52	24,5
2699	4,6
2752/60	3,6
2804	11,1
2894	5,8
2967	16,0
3022	27,6
3132	62,5
3341	7,2
3650/63	<u>100</u>
4047/78	42,6
4358	71,0
5461	85,3
5770/90	76,2

Mesures effectuées par Van Stekelenburg

TABLEAU V

Longueur d'onde (Å)	Rapport élongations <u>Lampe 392</u> Lampe 383
2640 - 2652 Å	1,15
2699 -	1,12
2752 - 2756	1,09
2804	1,13
2894	1,13
2967	1,14
3022	1,13
3132	1,14
3341	1,06
3650 - 3663	1,10
4047 - 4078	1,09
4358	1,06
5461	1,10
5770 - 5790	1,13

TABLEAU VI

Lampe Krefft 392 - Répartition spectrale énergétique

(Å)	1	2	Moyenne
2302	1,6	1,4	1,5
2353	2,4	2,9	2,6
2378	2,9	2,9	2,9
2400	3,6	3,5	3,5
2482	12,8	11,0	11,9
2640/52	24,2	23,6	23,9
2699	5,3	4,8	5,0
2752/60	3,7	3,9	3,8
2804	11,5	11,5	11,5
2894	5,2	6,0	5,6
2967	15,6	16,5	16,0
3022	28,0	29,1	28,5
3132	65,5	66,0	65,8
3341	8,0	8,2	8,1
3650/63	100	100	100

TABLEAU VII

Lampe "normale" à vapeur de mercure

(Å)	N° 392	Van Stekelenburg	Rössler
2302	1,5	-	1,5
2353	2,6	-	2,5
2378	2,9	-	2,9
2400	3,5	-	3,4
2482	11,9	-	11,5
2640/52	23,9	24,5	23,8
2699	5,0	4,6	4,5
2752/60	3,8	3,6	3,8
2804	11,5	11,1	10,2
2894	5,6	5,8	5,9
2967	16,0	16,0	15,3
3022	28,5	27,6	28,6
3132	65,8	62,5	67,0
3341	8,1	7,2	7,3
3650/63	100	100	100

Les nombres des deux dernières colonnes étant en accord très satisfaisant avec ceux qui ont été obtenus pour la lampe "normale" n° 392, à partir de la lampe à hydrogène, il paraît très probable que la courbe d'énergie de celle-ci est correcte, du moins jusqu'à 2300 Å. Une différence importante se manifeste cependant pour la raie 3132 Å, différence que l'on retrouve d'ailleurs dans toutes les déterminations effectuées sur d'autres lampes à mercure, lorsqu'on utilise comme sources de référence successivement la lampe "normale" et la lampe à hydrogène. Il paraît probable que l'intensité relative 62,5, attribuée par Van Stekelenburg à la raie 3132 Å est un peu faible.

D) Etude du spectre continu de la lampe "normale"

Des divergences plus importantes apparaissent entre la courbe d'énergie du fond continu du rayonnement de la lampe "normale" reproduite d'après Van Stekelenburg dans la note Osram ^{/8/} et les résultats que nous avons obtenus par comparaison avec la lampe à hydrogène. L'intensité énergétique par Å est toujours donnée en attribuant la valeur 100 à l'intensité globale du groupe de raies vers 3650 Å (Figure 20). Entre 2650 et 3900 Å, les courbes représentant nos mesures ont bien, pour les lampes "normales" que nous avons examinées, le même aspect que celle de Van Stekelenburg, avec toutefois un léger déplacement du minimum (2850 au lieu de 2820 Å) et du maximum (3230 au lieu de 3270 Å). Mais les tracés relatifs aux deux lampes n° 392 et 383 ne sont pas superposables; celui de la première se trouve au-dessus, la différence atteignant 7 à 8 % au voisinage du minimum et du maximum. En outre, les deux courbes diffèrent davantage encore de celle de Van Stekelenburg, dont les ordonnées sont plus petites. Par rapport au tracé correspondant à la lampe n° 392, les plus grands

écarts, près du minimum et du maximum, atteignent 20 % et 30 %. Dans la région des longueurs d'onde inférieures à 2500 Å, la discordance est considérable. On a obtenu, par comparaison avec la lampe à hydrogène, un maximum vers 2210 Å et un minimum vers 2440 Å, tandis que Van Stekelenburg n'indique qu'un seul maximum voisin de 2280 Å. Les ordonnées de la courbe d'énergie restent un peu plus faibles pour la lampe n° 383 que pour la lampe n° 392. Mais l'énergie totale rayonnée entre 2100 et 2500 Å paraît être à peu près le double de celle que l'on peut déduire du tracé de Van Stekelenburg.

On a laissé de côté jusqu'à présent l'intervalle 2500-2650 Å où l'on enregistre des variations rapides de l'intensité du fond continu (deux maximums et un minimum); elles sont dues à l'élargissement dissymétrique de la raie de résonance $\lambda = 2537$ Å et à son absorption par la vapeur relativement froide, qui dans une lampe à mercure à haute pression, entoure la colonne lumineuse axiale contractée. On trouve dans le tableau VIII pour le fond continu de la lampe n° 392 les valeurs obtenues dans deux séries de mesures, pour les intensités énergétiques relatives dans chaque intervalle de longueur d'onde $\Delta\lambda = 100$ Å entre 2100 et 3950 Å. On a pris arbitrairement égale à 10 l'intensité de l'ensemble des raies du mercure vers 3650 Å. Autour de la raie 2537 Å, l'intervalle a été étendu à 150 Å (2500 - 2650 Å) de telle sorte que l'intensité relative indiquée se rapporte à la fois au fond continu et à la raie elle-même. Dans le tableau IX, nous avons comparé les valeurs des intensités énergétiques relatives des deux lampes "normales" 392 et 383 à celles que l'on peut déduire des courbes de Van Stekelenburg et de Rössler (note Osram).

Intensité énergétique relative par $\text{\AA}$

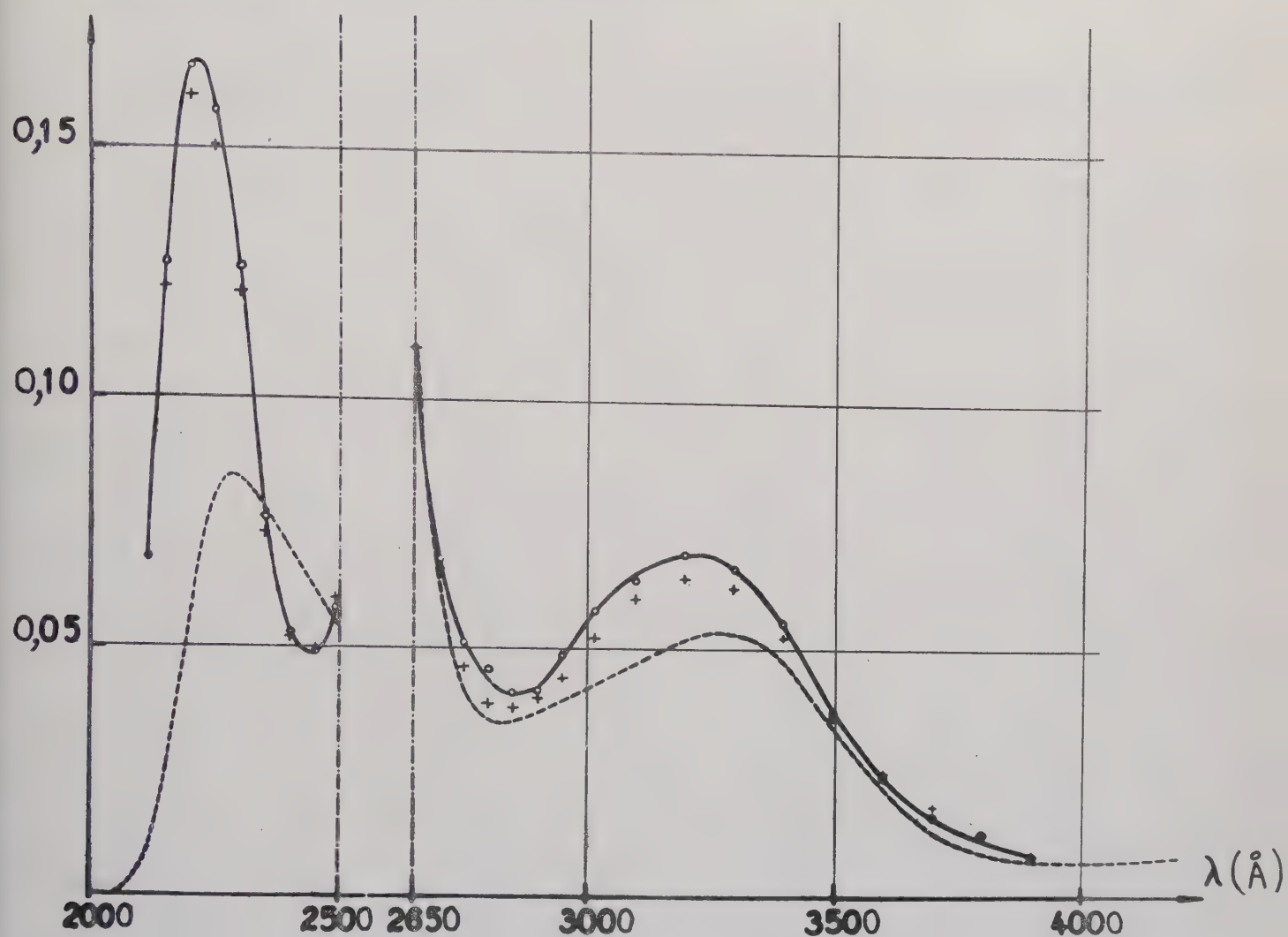


figure 20

——— lampe "normale" n°392 (O, valeurs expérimentales)
 ——— lampe "normale" n°383 (+, valeurs expérimentales)
 - - - - - courbe de van Stekelenburg

TABLEAU VIII

Intensité énergétique relative du fond continu de la lampe "normale" n° 392.

(Å)	1ère mesure	2ème mesure	moyenne
2100-2200	12,2	12,3	12,2
2200-2300	15,4	15,5	15,4
2300-2400	7,8	8,0	7,9
2400-2500	4,9	5,1	5,0
2500-2650	81,8	82,7	82,2
2650-2750	7,2	7,1	7,1
2750-2850	4,6	4,5	4,5
2850-2950	4,1	4,3	4,2
2950-3050	5,4	5,3	5,3
3050-3150	6,3	6,4	6,3
3150-3250	6,8	7,0	6,9
3250-3350	6,5	6,7	6,6
3350-3450	5,5	5,5	5,5
3450-3550	3,8	3,6	3,7
3550-3650	2,7	2,4	2,5
3650-3750	1,5	1,7	1,6
3750-3850	1,2	1,3	1,25
3850-3950	0,8	0,8	0,8

TABLEAU IX

Valeurs comparatives des intensités énergétiques relatives de l'U.V. Standard.

(Å)	N° 392	N° 383	Note Osram
2100-2200	12,2	11,7	2,7
2200-2300	15,5	14,9	7,7
2300-2400	7,9	7,7	7,8
2400-2500	5,0	5,1	6,2
2500-2650	82,2	83,3	66,7
2650-2750	7,1	7,0	6,9
2750-2850	4,5	4,3	3,7
2850-2950	4,2	4,2	3,7
2950-3050	5,3	4,9	4,2
3050-3150	6,3	6,0	4,7
3150-3250	6,9	6,4	5,2
3250-3350	6,6	6,2	5,25
3350-3450	5,5	5,2	4,7
3450-3550	3,7	3,6	3,4
3550-3650	2,5	2,5	2,2
3650-3750	1,6	1,6	1,3
3750-3850	1,25	1,25	0,9
3850-3950	0,8	0,8	0,8

CHAPITRE VI

SPECTROPHOTOMETRIE DE DIVERSES LAMPES

A VAPEUR DE MERCURE A HAUTE

PRESSION.

Si l'émission de la décharge dans la vapeur de mercure a fait l'objet de très nombreuses investigations portant notamment sur la répartition spectrale de l'énergie rayonnée, il ne semble pas qu'une étude systématique ait été faite sur les modèles commerciaux de lampes à haute pression qui sont maintenant à peu près "normalisées". Or ces lampes sont très largement employées pour l'éclairage et pour de nombreuses applications scientifiques ou industrielles. Il était donc intéressant de procéder à leur étude spectrophotométrique, même si les caractéristiques spectrales peuvent varier légèrement pour diverses lampes du même type ou avec le mode d'utilisation.

Nous avons étudié tout d'abord les énergies relatives spectrales de plusieurs brûleurs Claude, Paz et Visseaux de puissances comprises entre 50 et 1000 W.

Il s'agit de brûleurs commerciaux tels qu'ils se présentent en fabrication avant montage dans l'ampoule. Or, si dans les conditions habituelles de fonctionnement, la présence de l'ampoule permet l'établissement rapide d'un équilibre thermique, permettant à la tension d'arc

de se fixer, il n'en est pas de même lorsque les brûleurs fonctionnent à l'air libre. On a donc été amené à construire un boîtier métallique avec une ouverture à glissière pour mieux définir les conditions de température. Ce boîtier comporte un élément chauffant ayant une puissance de 700 W sous 127 volts. On peut ainsi modifier la température à l'intérieur de l'enceinte grâce à un alternostat Ferrix.

Le brûleur fonctionnait horizontalement dans cette enceinte, dont les parois intérieures sont revêtues d'une peinture noire mate (utilisée pour enduire les tableaux). L'élément chauffant et le support du brûleur sont fixés sur un patin mobile afin que ce soit toujours la partie centrale du brûleur qui soit située au-dessus de l'élément chauffant (Figure 21).

Les lampes de 50, 80, 125, 250 et 400 W étaient associées aux ballasts T 50, T 80, T 125, T 250 et T 400 (cf nomenclature CPV). La tension du secteur, stabilisée à 115 V, était appliquée entre les bornes 0 et 115. Quant aux brûleurs de 700 et 1000 W, ils fonctionnaient avec les self-inductances S 700 et S 1000, auxquelles on appliquait une tension stabilisée de 220 V fournie par un transformateur de 110/220 V intercalé après le régulateur (Métox type 1000S). Le courant passant dans l'élément de chauffage de l'enceinte était réglé de manière à ce que la tension d'arc atteigne, dans des conditions acceptables de stabilité, les valeurs indiquées dans le tableau X. On trouvera, dans ce dernier, l'indication de la puissance "nominale" de chaque lampe (le diamètre intérieur du tube et la distance des extrémités des électrodes figurant entre parenthèse), la tension d'arc et la puissance consommée (mesurée au Wattmètre).

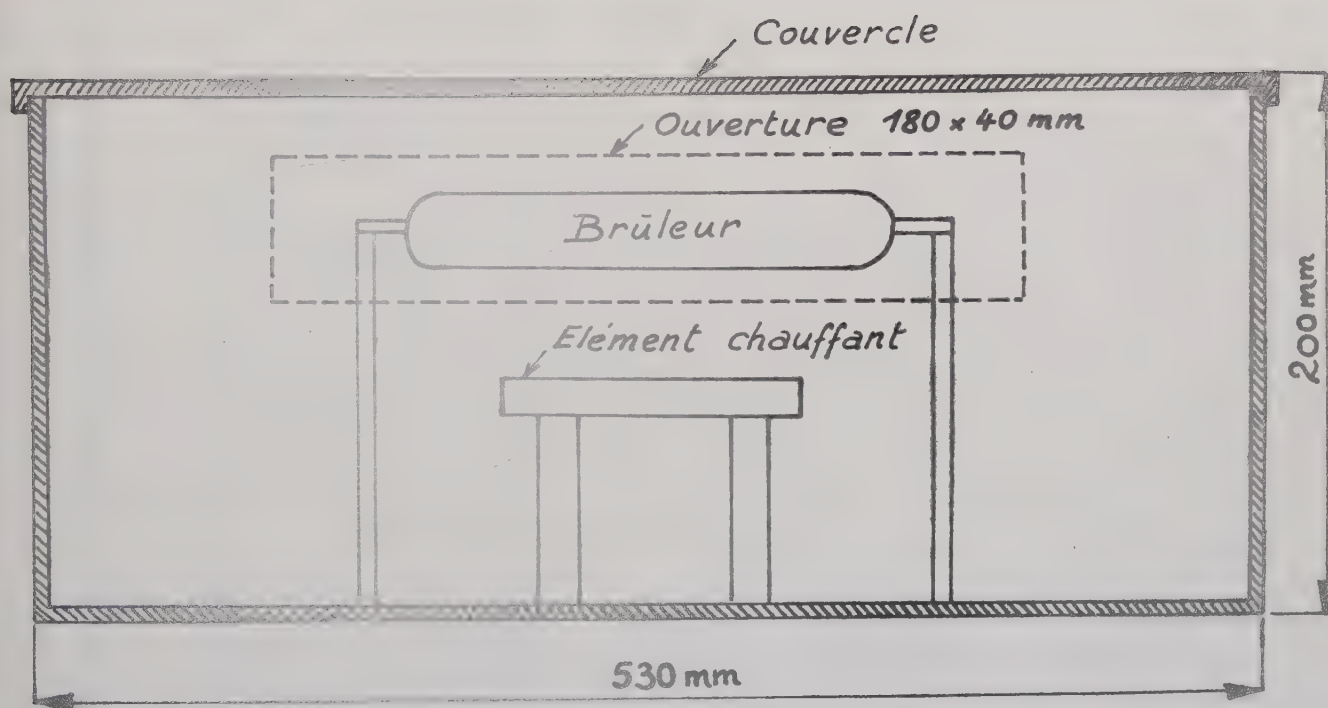


figure 21

Brûleurs C.P.V. - Tableau des répartitions spectrales énergétiques

Brûleurs	1000 W (30mm- 150mm)	700 W (20,5mm- 105mm)	400 W (18mm- 62mm)	250 W (15mm- 54mm)	125 W (9mm- 28mm)	80 W (7mm- 21mm)	50 W
Puissance absorbée	965 W	711 W	324 W	238 W	117 W	-	-
Tension de stabilisation	145 V	140 V	135 V	130 V	125 V	130 V	103 V
Longueur d'onde 2302 Å	1,5	1,6	1,1	1,1	1,0	0,2	0,6
2353	2,7	2,3	2,6	2,3	3,0	1,8	1,7
2378	3,8	3,7	3,3	3,4	2,6	2,3	2,0
2400	4,0	4,0	3,8	3,5	2,8	2,5	2,0
2482	11,6	12,0	12,1	12,0	11,0	9,6	8,9
2640/52	27,2	28,5	24,6	26,8	20,1	15,3	17,4
2699	5,9	5,4	5,2	4,4	4,0	2,8	2,5
2752/60	4,0	4,0	3,8	3,7	3,5	2,7	3,0
2804	15,0	14,7	13,7	13,3	10,8	9,1	9,4
2894	5,6	6,0	6,2	6,0	5,6	5,4	4,6
2967	16,5	16,2	16,9	16,9	18,3	16,7	17,7
3022	32,8	33,7	33,0	33,8	28,6	25,8	27,6
3132	63,5	63,5	61,7	64,6	64,5	66,5	63,6
3341	8,3	8,6	8,5	8,5	8,3	8,1	7,7
3650/63	100	100	100	100	100	100	100

L'étude des raies a été faite en même temps que celle du fond continu. Les valeurs trouvées, indiquées également dans le tableau X, sont en bon accord avec celles obtenues précédemment dans le laboratoire, par comparaison avec la lampe "normale" /9/. Elles montrent que, comme on l'a déjà signalé /10/, la distribution énergétique relative aux raies ultraviolettes ne varie pas considérablement pour les diverses lampes commerciales à haute pression dont les puissances s'échelonnent entre 50 et 1000 W.

L'examen des valeurs relatives au fond continu (tableau XI) montre que, dans l'intervalle de 2100 à 2500 Å, le spectre continu est relativement plus intense pour les lampes de 125 W que pour les autres. Les différences sont moins accusées dans la région 2500 - 2650 Å où se manifeste l'absorption de la raie de résonance 2537 Å. Mais elles reparaissent ensuite et subsistent lorsqu'on se rapproche du spectre visible. Au-delà de 2650 Å du côté des grandes longueurs d'onde, les lampes peuvent être classées en trois catégories (700 et 1000 W - 250, 400 W - 50, 80 et 125 W), telles que, pour chacune d'elles, l'intensité relative et la distribution spectrale du fond continu sont assez peu différentes, l'intensité croissant progressivement de la première à la troisième. Dans toute l'étendue de l'ultraviolet, les lampes de 700 et 1000 W, pour lesquelles la pression est relativement faible, donnent une émission continue, qui, du point de vue de l'énergie rayonnée, équivaut sensiblement à la moitié de l'ensemble des raies. Avec les lampes de 250 et 400 W, le rapport s'écarte peu de 7/10. Enfin, pour les lampes de 50, 80 et 125 W, qui fonctionnent à une pression plus élevée (supérieure à 10 atm.), il dépasse plus ou moins cette dernière valeur et peut même s'approcher de 9/10.

Nos nombreuses déterminations montrent que les lampes commerciales à vapeur de mercure à haute pression sont bien inférieures à la lampe "normale" allemande en ce qui concerne la stabilité de fonctionnement et la reproductibilité du rayonnement (raies et fond continu) entre 2100 et 4000 Å. D'autre part, nous avons laissé de côté l'influence, sur les caractéristiques spectrales, de l'évolution de la lampe au cours de la durée totale de son fonctionnement. Si l'on considère une lampe neuve, provenant directement d'un atelier de fabrication, cette évolution se traduit, en quelques dizaines d'heures, par une décroissance rapide et parfois importante du flux lumineux; la diminution est ensuite beaucoup plus lente, mais se fait sentir pendant toute la durée de la vie de la lampe /11/. A cet égard, on notera que nos mesures ont porté sur des lampes n'ayant subi vraisemblablement qu'un "vieillissement" d'assez courte durée.

Il importe d'alimenter et de faire fonctionner les lampes dans des conditions parfaitement déterminées. L'emploi d'une enceinte métallique de forme et de dimensions appropriées, qui remplace l'ampoule extérieure de verre des lampes d'éclairage, s'impose généralement dans l'utilisation au laboratoire, à défaut d'une ampoule extérieure de silice fondue qui semblerait d'ailleurs préférable. Dans ces conditions, il est possible, à partir de nos mesures, de calculer les éclairagements énergétiques obtenus pour divers domaines spectraux isolés au moyen d'un monochromateur ou de filtres dont la transmission est suffisamment connue. C'est pour cette raison, que les lampes Philips HPK de 125 W, couramment utilisées dans notre laboratoire pour irradier des substances fluorescentes, ont fait l'objet d'une étude plus approfondie.

Ces brûleurs, représentés par la figure 22, sont placés

TABLEAU XI

Brûleurs C.P.V. - Valeurs du fond continu

eurs	1000 W	700 W	400 W	250 W	125 W	80 W	50 W
-2200 Å	10,7	9,8	15,7	10,0	18,5	12,7	12,1
-2300	13,3	13,2	22,0	20,1	31,3	24,6	21,5
-2400	8,9	9,0	13,2	12,3	17,2	14,8	12,9
-2500	5,8	6,1	6,6	6,1	6,3	5,7	5,5
-2650	63,7	64,6	73,8	69,5	72,8	63,0	53,0
-2750	6,2	6,1	9,1	10,2	14,7	14,5	13,0
-2850	3,4	3,6	5,3	6,1	9,5	9,1	8,3
-2950	3,4	3,2	4,5	5,5	7,8	7,0	7,1
-3050	4,4	4,1	6,5	7,3	10,0	10,0	10,2
-3150	5,0	4,6	6,8	7,1	9,0	9,0	9,9
-3250	5,4	4,6	7,2	7,2	8,8	8,6	9,9
-3350	5,3	4,5	6,7	7,0	8,0	8,4	9,1
-3450	4,8	4,0	5,9	6,0	6,8	7,0	7,7
-3550	3,3	2,7	4,1	4,3	4,9	4,8	5,3
-3650	2,6	2,4	3,2	3,5	4,1	3,7	4,0
-3750	2,3	1,7	2,5	3,5	3,6	3,5	3,5
-3850	1,6	1,7	2,0	2,1	2,9	2,6	2,7
-3950	1,1	1,0	1,3	1,4	2,5	2,1	2,1

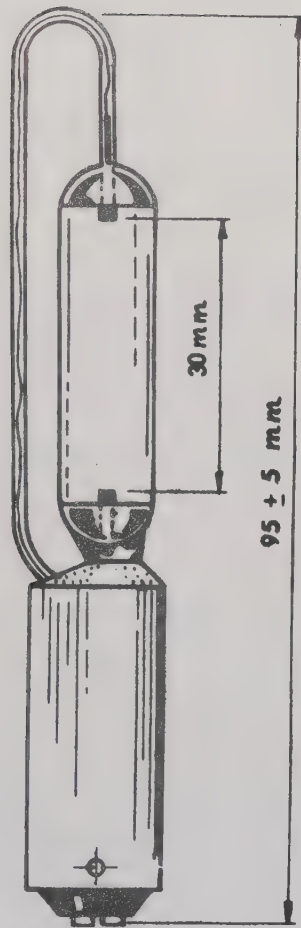


figure 22

verticalement et axialement dans une petite enceinte cylindrique de 80 mm de diamètre et de 210 mm de hauteur, comportant une ouverture latérale de 30 x 60 mm (Figure 23). Nous avons déterminé la répartition spectrale de l'énergie de deux brûleurs HPK 125, que nous désignerons par P_1 et P_2 . Leur tension de stabilisation diffère légèrement :

137 volts pour le brûleur P_1

132 volts pour le brûleur P_2 .

Les énergies relatives des raies sont consignées dans le tableau XII. Les valeurs figurant dans les colonnes a , pour les deux brûleurs P_1 et P_2 , ont été obtenues par comparaison avec la lampe "normale" et celles des colonnes b par comparaison avec la lampe à hydrogène.

L'étude du spectre continu (tableau XII) a montré que, pour ce type de lampe, l'intensité totale de l'émission continue dans l'ultraviolet est voisine des 85/100 de celle de toutes les raies. D'autre part, l'énergie ultraviolette totale rayonnée (raies et fond continu) est supérieure d'environ 75 % à celle de l'émission visible.

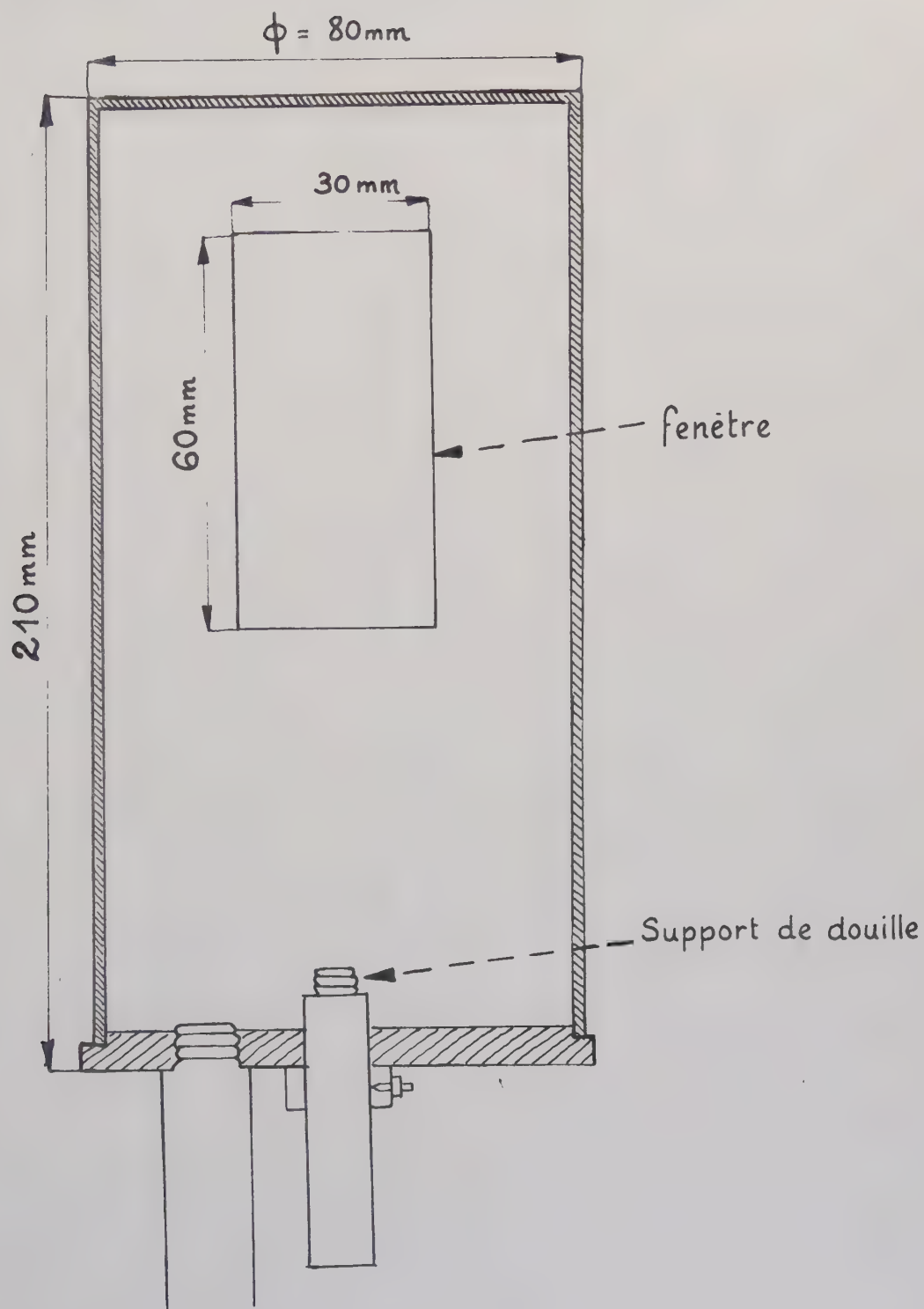


figure 23

TABLEAU XII

Répartition spectrale énergétique des brûleurs HPK

(Å)	P ₁		P ₂	
	137 v		132 v	
	a	b	a	b
2353	-	2,9	-	2,9
2378	-	2,8	-	3,0
2400	-	2,9	-	2,9
2482	-	13,3	-	12,6
2640/52	20,1	20,1	19,5	19,8
2699	3,7	3,8	3,6	3,9
2752/60	3,4	3,8	3,2	3,3
2804	11,0	10,7	10,5	10,2
2894	6,1	5,6	5,9	6,3
2967	17,5	17,6	16,8	17,2
3022	28,7	28,5	26,8	25,7
3132	58,9	62,1	54,0	63,0
3341	7,8	8,0	7,3	8,0
3650/63	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>100</u>

TABLEAU XIII

Valeurs du fond continu du brûleur HPK P_1

<u>Longueur d'onde ($\text{\AA}$)</u>	<u>P_1</u>
2100-2200	15,4
2200-2300	33,1
2300-2400	17,2
2400-2500	6,2
2500-2650	75,0
2650-2750	17,3
2750-2850	10,1
2850-2950	8,4
2950-3050	11,0
3050-3150	10,2
3150-3250	10,0
3250-3350	8,8
3350-3450	7,3
3450-3550	5,2
3550-3650	4,1
* 3650-3750	3,8
3750-3850	2,9
3850-3950	2,4

CONCLUSION

L'étude des modèles commerciaux de lampes à vapeur de mercure à haute pression nous a amenés à utiliser deux sources de référence qui nous ont donné des résultats en excellent accord pour le spectre de raies du mercure.

La lampe "normale", aussi bien que le tube à hydrogène présentent le grand avantage de rayonner une puissance élevée dans l'ultraviolet, ce qui les rend parfaitement adaptés aux comparaisons spectrophotométriques avec les sources usuelles de rayonnement ultraviolet. L'émission de raies de la lampe "normale" est surtout intéressante, l'intensité du spectre continu étant faible. Quant au tube à hydrogène, il est très utilisé dans toutes les recherches exigeant un spectre continu, par exemple dans le cas de la détermination de la sensibilité spectrale des photocathodes. Il est à noter également la bonne stabilité de l'émission de cette lampe au cours du temps. Pendant les 700 heures durant lesquelles le fonctionnement du tube a été étudié, on a constaté que la courbe de répartition spectrale de l'énergie s'est maintenue pratiquement constante au-dessus de $2600 \text{ \AA}$, l'affaiblissement ne dépassant pas 5 % dans le domaine $2150\text{-}2600 \text{ \AA}$.

BIBLIOGRAPHIE

1/ N.D. SMITH

Journ. Opt. Soc. Amer., t. 28, 1938, p. 40.

A. CHEVALLIER, P. DUBOULOZ, H. ROUX

Revue d'Opt., t. 16, 1937, p. 28.

St. VENCOV

Revue d'Opt., t. 14, 1935, p. 372.

P.K. SESHAN

The simple hydrogen discharge tube

Journ. of Sci. Instruments, 1935, p. 260.

O. LAWRENCE et S. EDLEFSEN

An intense source of continuous ultraviolet light

Rev. of Sci. Instruments, t. 1, 1930, p. 45.

2/ R.K. COWSIK

Cathodic sputtering of metals

Indian journal of physics, 1933, p. 209.

3/ D. CHALONGE et M. LAMBREY

Source de spectre continu dans l'ultraviolet

Revue d'Opt., t. 8, 1929, p. 332.

4/ G. DEJARDIN et D. CAVASSILAS

Revue d'Opt., t. 18, 1939, p. 251.

5/ S. GILLOD

Thèse de doctorat ès sciences, Paris, 1944, p. 7.

6/ H. KREFFT, F. ROSSLER et A. RÜTTENAUER

Zeits. techn. Physik, t. 18, 1937, p. 20.

W. ELENBAAS

The high pressure mercury vapour discharge

edi. North-Holland Publ. C°, Amsterdam, 1951, p. 110.

- 7/ F. RÖSSLER
Annalen der Physik, t. 34, 1939, p. 1.
1952, p. 177.
- 8/ Note Osram Studiengesellschaft, Berlin, Fév. 1961.
- 9/ F. CORTEVAL
Diplôme d'études supérieures, Lyon, 1964.
- 10/ G. DEJARDIN
La Vie Médicale, 39, 1958, p. 884.
- 11/ cf. "Mercury Lamps" - Notice A. 7264, Westinghouse Electric Corporation, 1961.

Vu :

Les membres du Jury :

MM. G. DEJARDIN

J. JANIN

J. d'INCAN

R. FALGON

Vu et approuvé :

Le Doyen de la Faculté des Sciences :

J. BRACONNIER

Vu et accordé le permis d'imprimer :

LYON, le 27 octobre 1965.

Le Recteur,

Président du Conseil de l'Université.

P. LOUIS.

